

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

ИНСТИТУТ АВИАЦИИ, НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра технологии машиностроительных производств

Направление подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
Образовательная программа:

К защите допустить

Зав. Каф. Р.М. Янбаев

«___» _____ 2024 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: «Проектирование технологии изготовления детали «Чашка ПЗУ» из
стали 10X18H9БЛ с разработкой процессов литья и обработки на станках с
ЧПУ»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ

А.С. Михеев гр.1409

(инициалы, фамилия, № группы)

(личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ Доцент к.т.н Е.Ф. Шайхутдинова
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

(личная подпись)

Казань 2024

Design of manufacturing technology for the part “ROM Cup” from steel 10H18N9BL with the development of casting processes and processing on CNC machines

Mikheev Anton Sergeevich

Submitted to the Department of Machine-Building Technology

in partial fulfillment of the Requirements for the degree of

BACHELOR OF SCIENCE

at the

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»
(KNRTU-KAI)

Author	A.S. Mikheev
<hr/>	
	<i>(signature)</i>

Supervisor	E.F. Shayhutdinova
<hr/>	
	<i>(signature)</i>
	Professor of the Department of Technical Sciences

Certified by	R.M. Yanbaev
<hr/>	
	<i>(signature)</i>
	Professor of the Department of Technical Sciences

date

Kazan 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление

Аннотация.....	4
ANNOTATION.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
1.1 Анализ рабочего чертежа детали.....	7
1.2 Материал детали.....	8
1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки.....	9
1.4 Проектирование заготовки.....	10
1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъема.....	13
1.6 Назначение литейных и формовочных уклонов.....	15
1.7 Выбор количества отливок в форме.....	15
1.8 и расчет литниково-питающей системы.....	17
1.9 Проектирование пресс-формы.....	19
1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям.....	23
1.11 Разработка технологии изготовления моделей и оболочковых форм.....	25
1.12 Расчет шихты и плавильного агрегата.....	30
1.13 Заключительные этапы процесса: формовка, заливка, выбивка, очистка и отделение отливок.....	36
1.14 Моделирование процессов.....	37
2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	42
2.1 Определение количества ступеней обработки основных поверхностей.....	43
2.2 Формирование укрупненного плана технологического процесса.....	44
2.3 Определение осевых операционных размеров и осевых размеров заготовки.....	45
2.4 Эскиз совмещенных переходов диаметральных цепей и их расчет:.....	58
2.5 Расчет режимов резания.....	70
2.6 Выбор технологического оборудования.....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
CONCLUSION.....	75
Список использованных источников и литературы.....	76

КТОМП.2024.2011135.000

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Разраб. Михеев. А.С

Проверил. Шайхутдинова.Е.Ф

Проект.

Н. Контр.

Шайхутдинова.Е.Ф Шайхутдинова.Е.Ф

«Проектирование технологии изготовления
детали «Чашка ПЗУ» из стали 10Х18Н9БЛ с
разработкой процессов литья и обработки
на станках с ЧПУ»

Лит. Лист Листов

3

КНИТУ-КАИ гр. 1409

АННОТАЦИЯ

Сведения об объеме работы: 76 страниц, чертежи – 5, иллюстраций – 17, использованных источников – 19.

Ключевые слова: отливка, пресс-форма, литье по выплавляемым моделям, литниково-питающая система, модели, формовочные смеси, индукционная печь, брак, технологический процесс, режущий инструмент

Объект исследования: технология изготовления детали "чашка" из стали 10X18H9БЛ.

Цель: проектирование метода получения заготовки и разработка технологического процесса для изготовления готовой детали.

Методы исследования:

Проектирование заготовки, Расчет литниково-питающей системы , Проектирование пресс-формы, Разработка технологического процесса литья по выплавляемым моделям, Теория размерных цепей, Методика расчета режимов резания и норм времени

Полученные результаты:

- Модернизированный технологический процесс
- Сборочный чертеж пресс-формы
- Разработанная технология изготовления отливок

Новизна работы:

- Разработка технологического процесса литья по выплавляемым моделям
- Разработка пресс-формы для литья
- Разработка единичного технологического процесса изготовления детали "чашка"

ANNOTATION

Information about the volume of work: 76 pages, drawings – 5, illustrations – 17, sources used – 19.

Key words: casting, mold, lost wax casting, gating-feeding system, models, molding mixtures, induction furnace, defects, technological process, cutting tool

Object of study: technology for manufacturing the “cup” part from steel 10X18H9БЛ.

Goal: designing a method for obtaining a workpiece and developing a technological process for manufacturing the finished part.

Research methods:

Design of a workpiece, Calculation of a gating-feeding system, Design of a mold, Development of a technological process for investment casting, Theory of dimensional chains, Methodology for calculating cutting conditions and time standards

Results:

- Modernized technological process
- Assembly drawing of the mold
- Developed casting manufacturing technology

Novelty of the work:

- Development of a technological process for investment casting
- Development of a mold for casting
- Development of a single technological process for manufacturing the “cup”

part

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа является завершающим этапом обучения студента в высшем учебном заведении. Ее основная цель - продемонстрировать приобретенные знания и навыки, а также провести самостоятельное исследование по выбранной теме.

В данном проекте основное внимание сосредоточено на разработке эффективной производственной технологии, проектировании оснастки, расчете операционных размеров и режимов резания для детали "Чашка ПЗУ". Анализ материалов, методов литья и обработки, а также применение современных технологий на станках с числовым программным управлением позволят создать конкурентоспособный продукт, соответствующий требованиям современной промышленности.

Литейное производство играет ключевую роль в изготовлении металлических деталей, обеспечивая возможность создания сложных деталей различных форм и размеров с высокой точностью и эффективностью. В рамках данной работы особое внимание уделяется литейному производству как критически важному этапу в создании качественной продукции. Анализ современных методов литья, выбор оптимальных материалов и технологий подготовки формы позволят разработать эффективную технологию изготовления детали "Чашка ПЗУ", соответствующую высоким промышленным стандартам. В данной работе рассматриваются как теоретические, так и практические аспекты процесса проектирования и изготовления детали "Чашка ПЗУ".

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО «АСКОМ-Системы проектирования». Россия. Все права защищены.
 Имя пользователя: Имя_Пользователя
 Имя файла: Имя_Файла.dwg
 Дата и время: 10.07.2024 20:11:35.01

$\sqrt{Ra\ 6,3(\sqrt{1})}$

10.07.2024.201135.01

Б-Б (1:1)

А (2:1)

Б (2:1)

1. Точность отливки по ГОСТ 25346-2013
 2. Литейные уклоны по ГОСТ Р 53465-2009
 3. Неуказанные радиусы в литье 1 мм
 4. Допуски размеров по ГОСТ 25347-82
 5. Общие допуски по ГОСТ 30893-1-2002
 6. Термическая обработка для улучшения обрабатываемости резанием,
 для снятия остаточных напряжений, для достижения свойств, заданных конструктором.

КОМП.2024.201135.01			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Изн./Лист</p> <p>Разработ</p> <p>Проект</p> <p>Г. изобр.</p> <p>Н. контр.</p> <p>Утв.</p> </div> <div> <p>№ докум.</p> <p>Михеев А.С.</p> <p>Шурупников Ф.</p> <p>Шурупников Ф.</p> <p>Шурупников Ф.</p> </div> <div> <p>Лист</p> <p>Листов</p> <p>Листов</p> <p>Листов</p> <p>Листов</p> </div> <div> <p>Дата</p> <p>Дата</p> <p>Дата</p> <p>Дата</p> <p>Дата</p> </div> </div>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Чашка ПЗУ</p> <p>Сталь 10Х18Н95/1 ГОСТ 977-88</p> </div> <div> <p>1:1</p> <p>зр. 1409</p> </div> </div>			
Коллоидная Формат А3			

По общероссийскому классификатору изделий и конструкторских документов:

Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др. / С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью конической, криволин., комбинир. / С наружной поверхностью конической / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., конич., криволин., комбинир. / С пазами на нар. поверхности, без отв. вне оси дет.

-	Информация о классификаторе ЕСКД
- ОК ЕСКД	Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93
» 71	Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.
» 712	С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью конической, криволин., комбинир.
» 7121	С наружной поверхностью конической
» 71217	С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., конич., криволин., комбинир.
712173	С пазами на нар. поверхности, без отв. вне оси дет.



Код классификатора ЕСКД 712173 / Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов / Детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др. / С L до 0,5 D вкл. с нар. поверхностью конической, криволин., комбинир. / С наружной поверхностью конической / С центр. сквоз. отв., круг. в сеч., конич., криволин., комбинир. / С пазами на нар. поверхности, без отв. вне оси дет.

Рис.2 «Классификатор изделий и конструкторской документации»

1.2 Материал детали

Для изготовления детали «Чашка ПЗУ» принимаем сталь 10X18Н9БЛ.

Марка: 10X18Н9БЛ.

Класс: Сталь для отливок легированная с особыми свойствами

Использование в промышленности: корпусные детали, работающие при температуре до 750 °C

Химический состав стали 10X18Н9БЛ по ГОСТ 977-88 [1]:

Таблица 1 «Химический состав»

Марка стали	Массовая доля элемента, %						
Обозначение по ГОСТ 977	Железо	Углерод	Марганец	Никель	Хром	Фосфор	Сера
						не более	
10X18Н9БЛ	58-62	≤0,1	2	12-18	17-20	0,025	0,025

Таблица 2 «Режимы термической обработки»

Марка стали	Режим термической обработки	
	Нормализация и отпуск	
	Нормализация	Отпуск
	Температура, °С	
10X18Н9БЛ	1050-1100	900-950

Дополнительная информация и свойства:

Температура начала затвердевания, °С: 1425-1440

Жидкотекучесть, Кж.т.: 1,0

Линейная усадка, %: 2,7 - 2,8

1.3 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки

Успешный отбор заготовки имеет ключевое влияние на возможность эффективной организации технологического процесса. Основные факторы, которые определяют выбор метода и способа изготовления заготовок, следующие:

- форма и размеры заготовки;
- точность формы, размеров и качество поверхностного слоя заготовок;
- технологические свойства материала;
- объем выпуска продукции;

- производственные возможности предприятия.

Отливка представляет собой заготовку изделия или само готовое изделие (деталь), получаемое путем заливки жидкого материала (металла, сплава, стекла, пластмассы и т.д.) в литейную форму, где он затвердевает.

В данном случае используется метод литья по выплавляемым моделям. Это процесс получения литых деталей с применением разовых моделей в неразъемные керамические формы. После формирования керамической оболочки на поверхности модели, саму модель удаляют путем выплавления, выжигания или растворения перед заливкой металла.

Преимуществами такого способа являются:

- Отсутствие у формы разъема обеспечивает повышенную точность;
- Возможность получения отливок самой сложной конфигурации практически из любых сплавов;
- Высокая точность и чистота поверхности отливки позволяют исключить последующую механическую обработку.

1.4 Проектирование заготовки

Устанавливаем в соответствии ГОСТ Р 53464-2009 [1] допуски размеров, формы, расположение и неровности поверхностей, допуски массы и припуска на механическую обработку.

- По приложению А [1], назначим в соответствии с методом литья и материалом отливки класс размерной точности отливки 7т-11. В соответствии с примечанием к приложению относят к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства получаем 9.
- По приложению Б [1], назначаем степень коробления элементов отливки, по отношению размеров и параметров формы 5-8, учитывая

примечание к приложению выбираем большее значение для сложных отливок из черных металлов, следовательно, получаем 8.

- По приложению В [1], назначаем степень точности поверхности отливок в соответствии с методом литья и материалом отливки 10-17. В соответствии с примечанием принимаем среднее значение для деталей средней сложности, соответственно получаем 14.

По приложению Д [1], назначаем класс точности массы отливки в соответствии с массой отливки 5-13т. В соответствии с примечанием принимаем среднее значение для деталей средней сложности, соответственно получаем 9.

По приложению Е [1], выбираем ряд припусков на обработку отливки по степени точности поверхности отливки 14 получаем 5-8. Из условий в примечании принимаем среднее значение для стальных отливок 7.

Для устранения неровностей и дефектов литой поверхности, а также уменьшения ее шероховатости, без необходимости повышения точности размеров, формы и расположения обрабатываемой поверхности, определим минимальный литейный припуск в соответствии с таблицей 5. Этот припуск составляет 0,4 мм. Далее, согласно классу точности, назначим допуски линейных размеров отливки по таблице 1 и внесем их в сводную таблицу. После этого, по таблице 6 выберем припуски, соответствующие установленным допускам на размеры, и внесем их в сводную таблицу припусков.

Таблица 3 «Допуски и припуски согласно ГОСТ Р 53464-2009»

№	Размер	Вид оконч. обр.	Допуск, мм	Припуск, мм	Суммарный размер
Диаметральные размеры					
1	Ø22	чистовая	1,6	3,1	25,1±0,8
2	Ø10	чистовая	1,2	2,7	7,3±1,4
3	Ø0	чистовая	2	3,8	40,5±1,9
Линейные размеры					
1	30	получистовая	1,8	3,0	33±1,5
2	8	получистовая	1,2	2,7	10,7±1,4
3	4	получистовая	1		5,3

Заготовка спроектирована в программе Компас v23.1. Ниже приведены рисунки последовательности создания 3D модели детали.

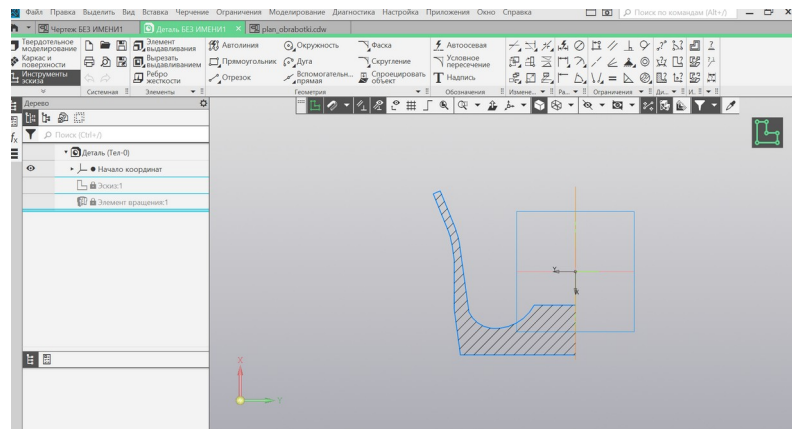


Рис.4 «Выбираем базовую систему координат XY. Создаем эскиз, используя размеры с чертежа»

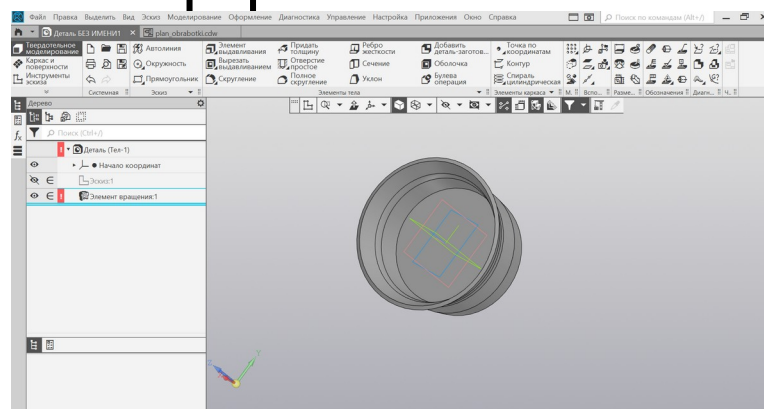


Рис.5 «С помощью команды «Вращение» создаем тело детали на основе полученного эскиза».

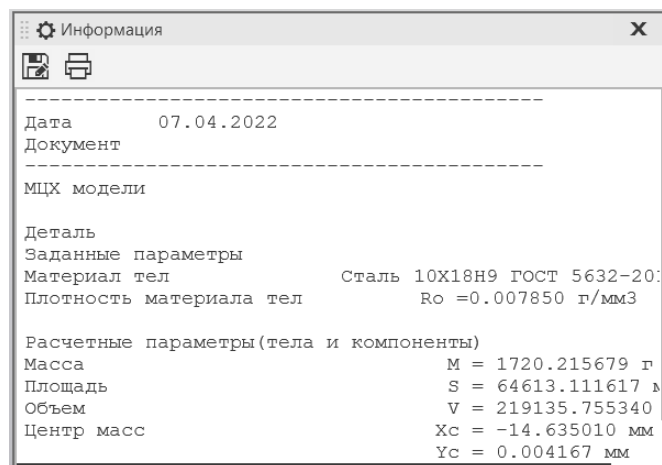


Рис. 6 «массо-центровочные характеристики «Чашки ПЗУ»»

Коэффициент использования материала (КИМ) в таком случае будет равен:

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{отливка}}} = \frac{720}{1720} = 0,43$$

По результатам расчета КИМ видно, что оптимальной заготовкой будет являться отливка.

1.5 Выбор положения отливки в форме и плоскости разъема

При литье по выплавляемым моделям литниково-питающую систему (ЛПС) формируют из стандартных компонентов: литниковых воронок, стояков и прибылей. Благодаря неразъемной конструкции формы, характерной для этого метода, эти элементы можно расположить наиболее оптимально, максимально задействуя объем формы.

Для отливки "Чашка ПЗУ" наиболее подходящей будет литниково-питающая система 1-го типа, где центральный стояк выступает в качестве питающего элемента. Такая ЛПС представляет собой компактный

центральный стояк, к которому с разных сторон присоединяются небольшие отливки с индивидуальными питателями. Центральный стояк одновременно служит литниковым ходом и общей прибылью, а питатели выполняют роль прибыльных шеек. Сечение этого стояка имеет круглую форму.

При изготовлении отливки методом литья в оболочковые формы, размещение заготовки (модели) в форме осуществляется в горизонтальном положении. Питатель (литниковая система) располагается на участке максимального диаметра отливки, в соответствии с его требуемой толщиной. В данном случае, расположение плоскости разъема модели не имеет решающего значения, поскольку сама модель изготавливается из воска и впоследствии удаляется из формы путем выплавления, одновременно с

сушкой оболочки формы. Таким образом, ключевые моменты здесь - горизонтальное размещение отливки в форме, расположение питателя на участке максимального диаметра и несущественность плоскости разъема модели, ввиду технологии ее последующего удаления.

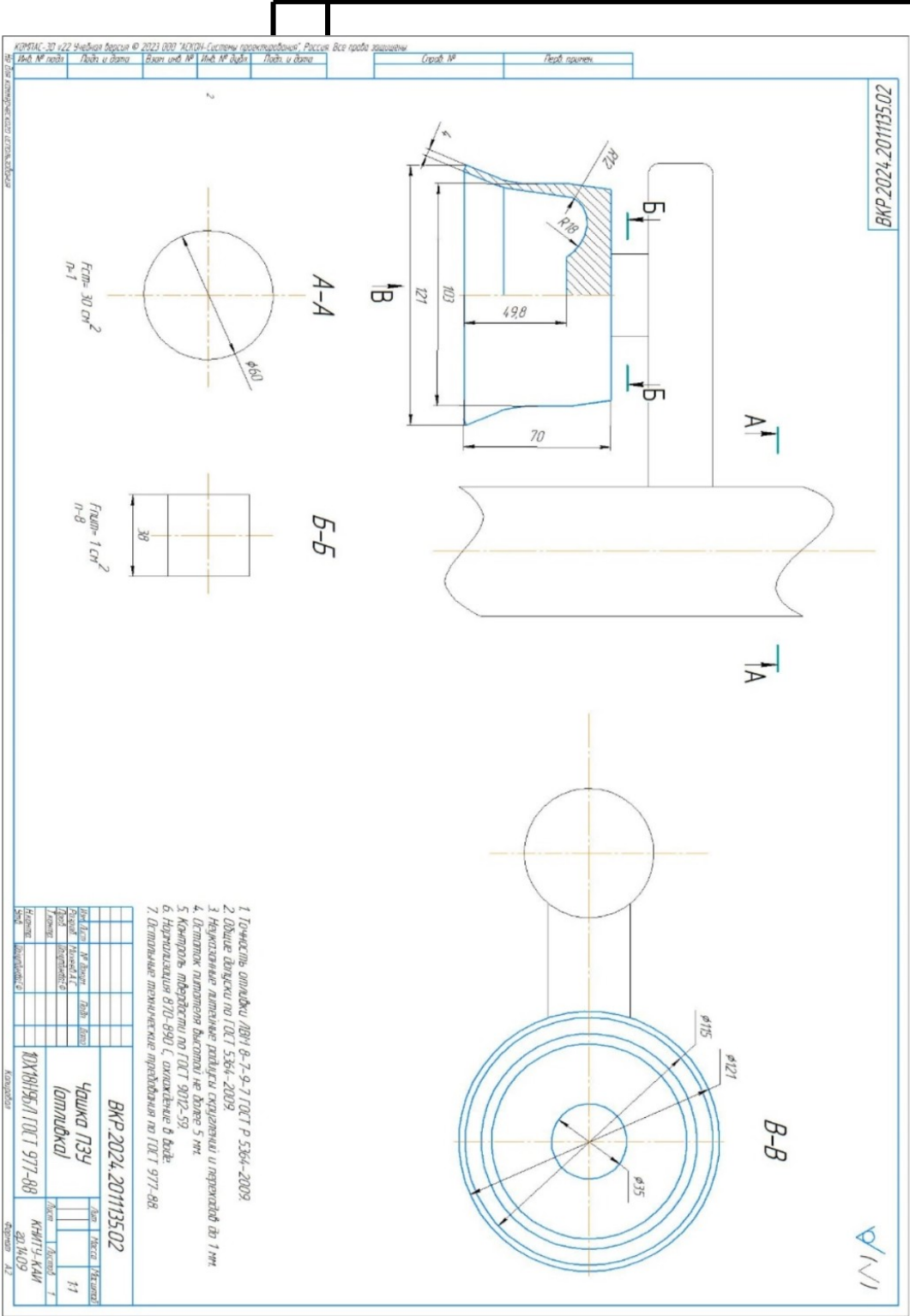


Рис.7. Чертеж отливки «Чашка ПЗУ»

1.6 Назначение литейных и формовочных уклонов

Формовочные уклоны необходимы для того, чтобы облегчить извлечение модели из формы без её повреждения. Эти уклоны назначаются на стенки модели, которые расположены перпендикулярно плоскости разъема формы. Литейные уклоны обеспечивают выход газов между формой и заготовкой в процессе заливки или прессования.

Величина уклона может быть выражена либо в градусах (угол наклона стенки к вертикали), либо в процентах (тангенс угла). Размер уклона зависит от высоты стенки, материала модели и метода формовки. Металлические модели имеют более гладкую поверхность, поэтому они изготавливаются с меньшими уклонами по сравнению с деревянными моделями.

Для машинной формовки, где модель извлекается механически, требуются меньшие уклоны, чем для ручной формовки. Необходимые минимальные литейные и формовочные уклоны устанавливаются согласно ГОСТ 3212-92 "Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров", пункт 1.6 "Значения формовочных уклонов для литья по выплавляемым моделям", таблица 3. В случае обрабатываемых вертикальных стенок (перпендикулярных плоскости разъема формы), уклон всегда задается со знаком "плюс". Если стенка отливки не обрабатывается, но имеет толщину менее 8 мм, уклон также назначается со знаком "плюс". При толщине необрабатываемой стенки 8-12 мм уклон задается со знаком "плюс-минус", а при толщине свыше 12 мм - со знаком "минус" (если высота стенки до 100 мм) или "плюс-минус" (если высота свыше 100 мм).

1.7 Выбор количества отливок в форме

Тип производства зависит от общего объема выпуска, который определяется с учетом технологических потерь, запасных частей и заданного объема выпуска изделия. От типа производства зависит выбор

технологических методов обработки, оборудования, оснастки, средств механизации и автоматизации и организационных форм выполнения технологических процессов (не поточная или поточная). На начальной стадии проектирования ориентировочно устанавливаем тип производства данной детали на основе массы и размеров годового выпуска, пользуясь таблицей 1.1.

Таблица.4 «Зависимость типа производства от объема выпуска и массы детали»

Тип производства	Годовой объем выпуска деталей одного наименования, шт		
	Мелкие (до 10 кг)	Средние (св.10 до 100 кг)	Тяжелые (св.100 кг)
Единичное	До 100	До 10	До 5
Мелкосерийное	100 – 500	10 – 200	5 – 100
Среднесерийное	500 – 5000	200 – 500	100 – 300
Крупносерийное	5000 – 50000	500 – 5000	300 – 1000
Массовое	Св. 50000	Св. 5000	Св. 1000

Исходя из полученных данных, анализа данного чертежи и зная, что деталь имеет массу равную 0,08 кг, можно прийти к выводу, что деталь относится к легким (мелким) деталям. Моя деталь является сборочной частью, устанавливаем среднесерийное производство, что соответствует годовому объёму выпуска равному 2500 шт.

1.8 и расчет литниково-питающей системы

При определении оптимальной продолжительности заливки необходимо учитывать точку подвода сплава. Если сплав подводится снизу, то длительность заливки должна быть меньше, чем при подводе сверху. Это необходимо, чтобы обеспечить достаточно высокую температуру сплава в прибыли.

С другой стороны, при подводе расплава в тонкие участки отливки, более продолжительная заливка будет способствовать уменьшению внутренних напряжений в отливке.

Аналитическое определение t_{\min} и t_{\max} в настоящее время затруднено, поэтому в практике расчетов широко используются эмпирические зависимости. Наиболее широко известна формула Г.М. Дубицкого:

Расчет времени заливки

$$\tau_3 = S \sqrt[3]{G * \delta}, c$$

где δ – среднестатистическая толщина отливки, мм;

S – безразмерный коэффициент, учитывающий вид заливаемого сплава, способ литья, тип литниковой системы, массу отливки и т.д.;

G – общая металлоемкость формы, кг.

Среднестатистическая толщина ищется по формуле:

$$\delta = \frac{S_{\min \text{ сечения}}}{P_{\min \text{ сечения}}} = \frac{417.2521}{115.0204} = 3,62 \text{ мм}$$

Безразмерный коэффициент S для нашего случая примем равным 2.

Общая металлоемкость формы равна $G=5,2 \text{ кг}$

Можем найти время заполнения:

$$\tau_3 = 2 * \sqrt[3]{5,2 * 3,62} = 5,32027 \text{ с}$$

Расчет минимального сечения элемента литниковой системы

$$F = \frac{G}{\mu * \rho * \tau * \sqrt{2 * g * H_p}}$$

где G – общая металлоемкость формы, кг;

μ – коэффициент массы расхода;

H_p – гидростатический напор, м;

ρ – плотность, кг/м³;

g – ускорение свободного падения тела, g=9,81 м/с².

Коэффициент массы расхода μ ищем по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}}$$

где $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ ищется исходя из нижеперечисленных данных.

1. 1,4 – при переходе сплава из чаши в стояк;
2. 1,1 – при переходе сплава из стояка в шлакоуловитель;
3. 1 – при переходе сплава из шлакоуловителя в питатель;
4. 0,7 – при переходе сплава из питателя в отливку.

В моем случае коэффициент массы расхода μ будет равен:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,4 + (0,7 * 21)}} = 0,249$$

Гидростатический напор H_p равен 0,6 м.

Плотность стали по таблице равна 7820 кг/м³.

Тогда минимального сечения элемента ЛПС:

$$F = \frac{5,2}{0,249 * 7820 * 5,32027 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,6}} = 0,000146298 \text{ м}^2$$

Площадь одного питателя равна $14,6 \text{ см}^2 \rightarrow 150 \text{ мм}^2$.

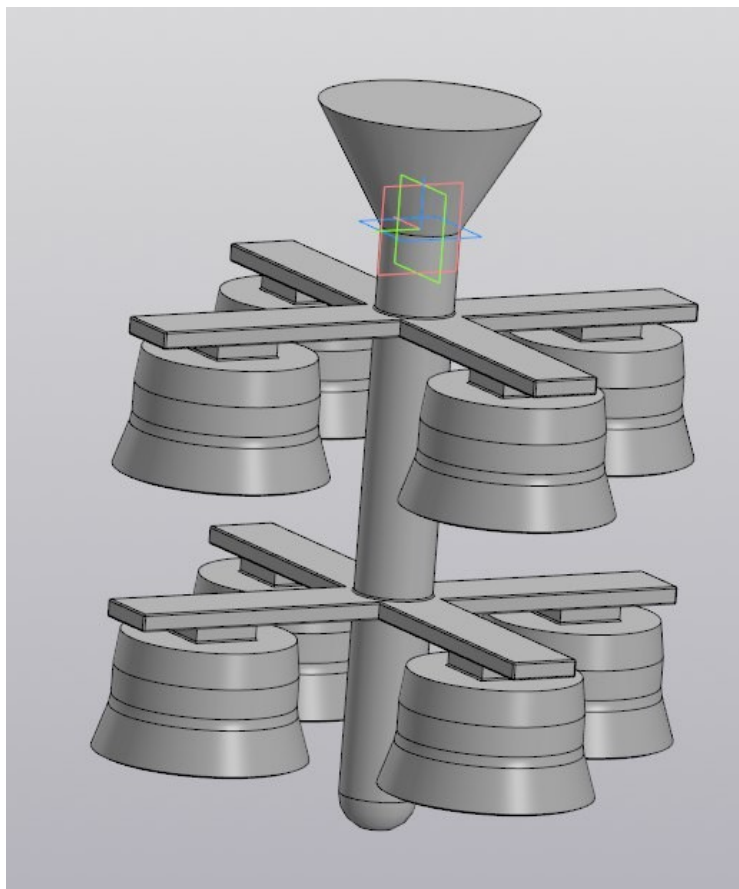


Рис.8 «Модель летниково-питающей системы»

1.9 Проектирование пресс-формы

1.9.1 Выбор пресс-формы

Пресс-форма - это сложное устройство, используемое для получения различных изделий из металлов, резины и других материалов под воздействием давления, создаваемого литьевыми машинами.

Пресс-формы применяются при литье под давлением металлов и полимеров, а также при литье по выплавляемым моделям.

Пресс-форма состоит из неподвижной части (матрицы) и подвижной части (пуансона). Формующие полости этих элементов являются негативным отпечатком внешней поверхности готового изделия. В одной пресс-форме

может одновременно формироваться несколько деталей (многоместные формы). Подача материала в формующую полость осуществляется через литниковую систему, включающую центральный, разводящие и впускные литники.

Извлечение готовой заготовки производится с помощью системы выталкивания. В зависимости от материала и требований к изделию, в пресс-форме поддерживается определенный температурный режим, преимущественно за счет циркуляции охлаждающей воды по каналам. Сложность изготовления и высокая стоимость пресс-форм обуславливают их использование, в основном, для серийного и массового производства.

Конструкция пресс-формы должна обеспечивать легкое и быстрое извлечение модели из рабочей полости без деформаций и повреждений. Чем меньше разъемов у пресс-формы, тем выше точность получаемых моделей. Поэтому стремятся минимизировать число разъемов. Однако для изготовления сложных моделей приходится использовать пресс-формы с несколькими разъемами, чтобы обеспечить возможность извлечения изделия. В зависимости от конструкции и методов изготовления, различают пресс-формы для: - единичного и мелкосерийного производства; - серийного производства; - массового производства.

1.9.2 Требования, предъявляемые к пресс-формам

Главным критерием является - изготовить модель отливки с заданной точностью и шероховатостью поверхности.

При проектировании следует учитывать:

- тип производства, тем самым материал пресс-формы;
- количество разъемов пресс формы, поскольку, чем их меньше, тем выше точность модели;
- хорошее заполнение пресс-форм модельным составом, то есть иметь: ЛПС, вентиляционную систему для удаления воздуха;
- извлечение модели должно быть легким

- быстрое охлаждение модельного состава в форме
- долговечность
- количество качественных моделей, чем больше, тем выше

производительность;

- простая конструкция.

Выбираю ручную пресс-форму для серийного производства (автоматизированного) из стандартных деталей.

Материал пресс-формы: алюминиевый сплав, для достаточной долговечности и устойчивости формы

1.9.3 Выбор составных частей пресс-формы

Пресс-форма будет состоять из верхней и нижней полуматриц, которые будут между собой соединяться при помощи откидных болтов.

Для качественного центрирования будем использовать специальные штыри, которые расположены по диагонали. Такое расположение дает наибольшую эффективность.

Для извлечения отверстия в отливке будем использовать стержень. Стержень спроектировать по ГОСТ 3212-92 Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров [3].

По ГОСТ 3212-92 для извлечения модели из полости пресс-формы на поверхности выполняются уклоны по таблице:

Таблица 5. «Формовочные уклоны по ГОСТ 3212-92»

Высота модели, мм	Формовочный уклон			
	для наружных поверхностей		для внутренних поверхностей	
		мм		мм
До 10	30'	0,08	1°30'	0,26
Св. 10 – 16	20'	0,09	1°00'	0,28
16 – 25	15'	0,10	45'	0,33
25 – 40		0,16		0,52
40 – 63	10'	0,18	30'	0,55
63 – 100		0,29		0,87

Примечание: При изготовлении моделей в ручных пресс-формах значения формовочных уклонов могут быть увеличены в 1,5 раза.

Таким образом формовочный уклон будет равен $30^{\circ} \cdot 1,5 = 45^{\circ}$

При помощи ГОСТ 3212-92 проектируем стержень, знаковые части. Для извлечения стержня из пресс-формы предусматриваем кольцо.

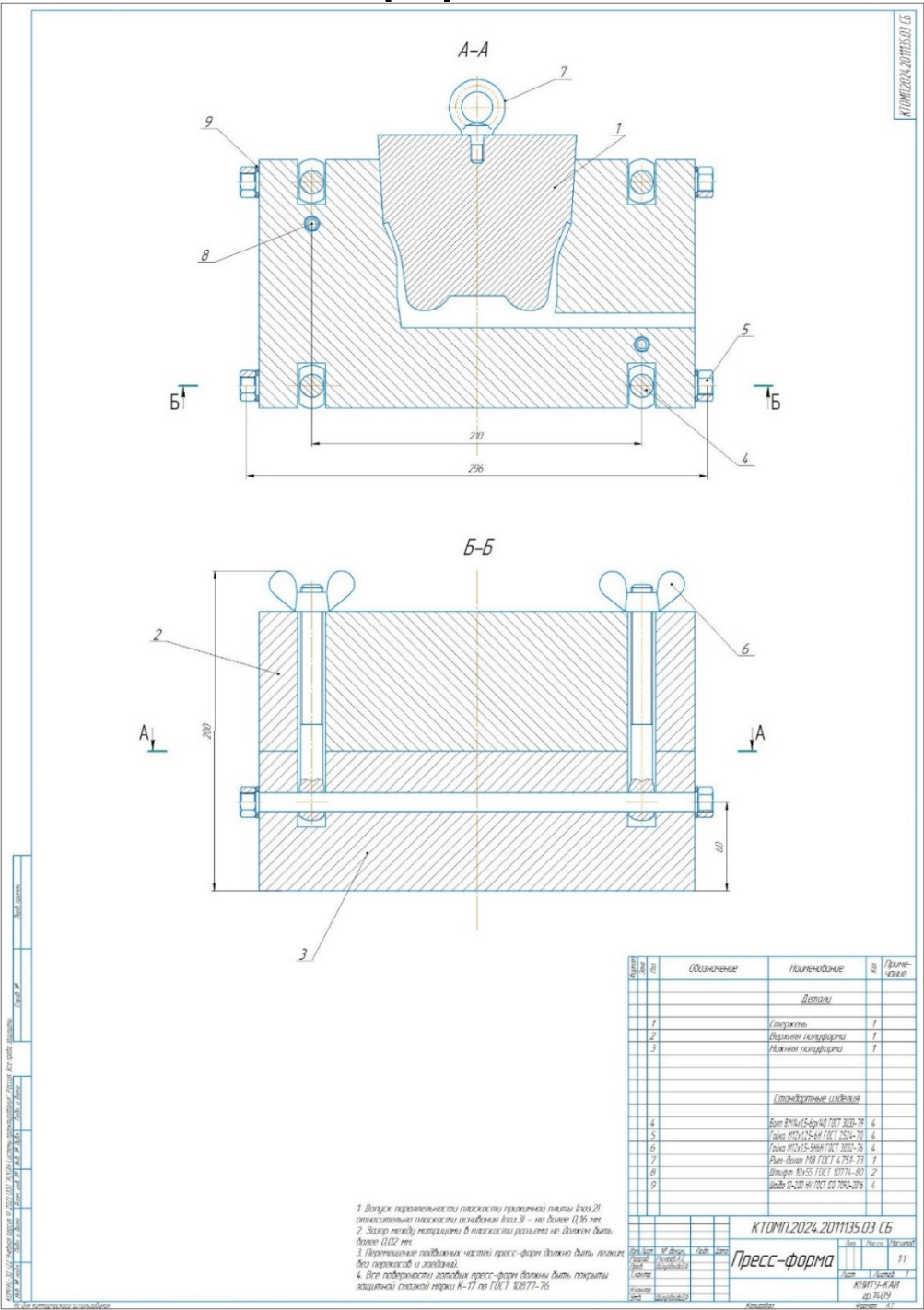


Рис.9 Чертеж «Пресс-формы»

1.10 Технологический процесс литья по выплавляемым моделям

В технологических процессах литья по выплавляемым моделям используется однократная керамическая, гипсовая или пластиковая оболочка, сформированная вокруг воскового образца. При нагреве восковая модель плавится и удаляется в печи, а затем в образовавшуюся полость заливается металл, застывая в виде готового отливаемого изделия.

Технология включает в себя следующие этапы:

- Изготовление эталонного образца.
- Установка готовых образцов в литейную форму.
- Формирование вокруг восковых образцов огнестойкой оболочки.
- Удаление образца.
- Нагрев металлического расплава и его заливка в образовавшуюся форму.
- Разрушение оболочки.
- Удаление литниковых каналов и следов от них, зачистка отливки по линии разъёма и прочие финишные переходы.

После изготовления образца для достижения однородности материала, его подвергают уплотнению в специальных прессовых формах. Далее, все образцы собирают в модельные формы и оснащают общими литниковыми каналами. На этапе формирования огнеупорной оболочки, образцы погружают в суспензию на основе керамических компонентов, после чего обрабатывают формовочным или кварцевым песком и сушат. Этот процесс повторяется до тех пор, пока восковая модель не будет покрыта прочной оболочкой. Толщина оболочки определяется сложностью конфигурации будущей отливки - чем она сложнее, тем толще должна быть оболочка. Как

правило, требуется 10-12 таких циклов. Такая прочная оболочка надёжно предотвращает её разрушение от растягивающих напряжений, возникающих при заливке расплава.

Для удаления восковой модели, всю модельную сборку помещают в герметичную нагреваемую камеру, где большая часть воска расплавляется и выводится через литниковые каналы (остатки впоследствии сжигаются в печи). Оставшаяся в форме оболочка повторяет конфигурацию готовой отливки, включая литниковую систему.

Медленный нагрев обеспечивает обжиг керамики, улучшая ее эксплуатационные свойства. Достигнув необходимой температуры (обычно 850-950°C), форму заполняют расплавленным металлом. Скорость заливки не должна превышать 40-50 мм³/мин, чтобы не допустить растрескивания и нарушения целостности оболочки. При увеличении объема оболочки, скорость заливки металла может быть повышена.

После остывания отливки, оболочка кристаллизатора отделяется от нее в процессе выбивки. Затем, после удаления литниковой системы, готовое изделие обрабатывают в пескоструйных камерах, шлифуют поверхность и, при необходимости, проводят дополнительную механическую доработку для достижения требуемой точности. Данный процесс применим для литья заготовок практически из любых сплавов. Плавление можно осуществлять как в обычных условиях, так и в вакууме - в зависимости от химического состава сплава.

Вакуумная плавка используется для сплавов на основе тугоплавких металлов. Типичными отливками, получаемыми по данной технологии, являются изделия из алюминиевых, бронзовых, магниевых сплавов, а также углеродистой и нержавеющей стали.

1.11 Разработка технологии изготовления моделей и оболочковых форм

1.11.1 Изготовления моделей и сборка блока

а) Модельный состав:

Для получения отливки необходимо сначала изготовить ее модель. Для этого используют различные модельные составы: выплавляемые, растворяемые и выжигаемые.

В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью, чтобы точно воспроизводить конфигурацию модели при заполнении полости пресс-формы, и легко и полностью удаляться из оболочковой формы.

Усадка состава при охлаждении и его расширение при нагреве должны быть минимальными и стабильными, чтобы обеспечить высокую точность моделей и отливок. Модельный состав не должен прилипать к поверхности пресс-формы, а его химическое взаимодействие с материалом пресс-формы недопустимо. После затвердевания в пресс-форме модельный состав должен иметь прочность и твердость, достаточные для того, чтобы модели не деформировались и не ломались на последующих этапах технологического процесса.

В качестве стандартного материала выбран парафин - смесь углеводородов состава $C_{18}H_{38}$ - $C_{35}H_{72}$, с температурой плавления 40-65°C и плотностью 880-900 кг/м³. Парафин не растворим в воде и спиртах, но растворим в минеральных маслах. При 140°C окисляется кислородом до органических кислот. Получают его сухой перегонкой бурого угля и горючих сланцев. Используют технический парафин - воскообразную массу белого цвета, содержащую до 3% масла. Это недефицитный и относительно дешевый материал.

б) процесс изготовления моделей:

Процесс создания моделей включает в себя следующие этапы:

- подготовка пресс-формы;
- заполнение пресс-формы модельным составом;
- выдержка для затвердевания и охлаждения модели;
- разборка пресс-формы и извлечение модели;
- выдерживание модели до окончания усадки.

В единичном, мелкосерийном и серийном производстве модели создаются в неавтоматизированных пресс-формах. Данные пресс-формы заполняются с помощью специализированного оборудования - шприц-машин (рисунок 9) или ручных шприцев.

Шприц-машины, используемые для изготовления восковых моделей, бывают двух основных конструкций: - С-образные - с четырьмя направляющими. Таким образом, в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства, модели изготавливаются в пресс-формах, которые заполняются либо автоматизированным оборудованием (шприц-машинами), либо вручную с помощью ручных шприцев.



Рис. 10 «Шприц-машина с четырьмя направляющими»

1.11.2 Изготовление оболочковой формы

На следующем этапе технологического процесса используется оборудование для сборки модельных элементов. Соединение моделей может быть выполнено различными способами: в специальном кондукторе, механическим способом или с помощью пайки.

Поскольку в данном случае рассматривается серийное производство, применяется метод пайки. Для этого используются электрические паяльники с плоским широким жалом. Для приготовления огнеупорного покрытия литейной формы применяется специальное оборудование - установка или агрегат, который непрерывно готовит суспензию из электрокорунда, этилсиликата, воды и ацетона. Нанесение огнеупорного покрытия на модельные блоки происходит автоматически. Блоки погружаются в емкость с клейким составом, а затем - в псевдокипящий слой песка. Продувка этого слоя снизу сжатым воздухом способствует беспрепятственному погружению блоков в песок. Размер песчинок составляет 0,25 мм, а для первого слоя - до 0,16 мм. Готовая оболочковая форма должна соответствовать следующим требованиям: обладать достаточной прочностью;

- не деформироваться при заливке, затвердевании и охлаждении отливки;
- быть химически инертной к модельному составу и металлу отливки;
- обеспечивать получение отливок с поверхностью требуемой шероховатости и высокой точностью размеров, массы и конфигурации.

Выбираем электрокорунд. Это синтетический материал Al_2O_3 , полученный из чистого глинозёма в электрических печах. Плотность

составляет 3960 кг/м³, а температура плавления зависит от его чистоты и может варьироваться от 2000 до 2120 °С.

Оболочки, изготовленные из электрокорунда, обладают высокой термостойкостью, трещиностойкостью и механической прочностью. Их можно заливать без использования опорного наполнителя.

В качестве связующего материала будем использовать этилсиликат – 40 по ГОСТ 26371-84 [10], который удовлетворяет следующим требованиям:

- смачивает поверхность модели;
- не растворяет модель и не вступает в реакцию с составляющими модельного состава;
- имеет достаточную вязкость.

Этилсиликаты сами по себе не обладают связующими свойствами, а являются исходными продуктами для их получения. Они представляют собой продукт реакции этилового спирта с четыреххлористым кремнием: $(C_2H_5O)_4Si$.

Для придания этилсиликатам связующих свойств, необходимо провести их гидролиз в присутствии катализаторов, чаще всего соляной кислоты. Гидролиз происходит на границе раздела фаз этилсиликата и воды, так как этилсиликат не растворим в воде. Для обеспечения протекания реакции по всему объему, используются различные растворители, которые обеспечивают смешение компонентов.

Также рекомендуется добавить в суспензию поверхностно-активное вещество - оксид хрома Cr_2O_3 . Сушка слоев огнеупорного покрытия производится в специальных установках - непрерывного или периодического действия. Осуществляется воздействием теплого воздуха, а затем в среде, насыщенной аммиаком (реакция замещения). Следующим этапом является извлечение модели из литейной формы.

Существует несколько методов для извлечения модельной массы из формы:

- путём погружения в горячую воду;
- используя нагретый воздух или пар, который подаётся в литниковую систему модельного блока;

- в специальных печах, которые также применяются отжига

Последний метод часто применяется не столько для выплавления, сколько для сжигания модельной массы, поскольку в этом случае материал не только плавится, но и сгорает.

Для удаления модельного комплекса выбран метод выплавления модели в горячей воде. Этот метод имеет следующие преимущества:

1. Позволяет более эффективно (на 80-95%) использовать материал модельного состава для создания новых моделей и литниковых систем, благодаря возможности его повторного применения.
2. В отличие от метода сжигания, он обеспечивает полное извлечение модельной массы даже из труднодоступных мест отливки.

В процессе выплавления модельной массы критически важно контролировать уровень кислотности среды, используя контакт Петрова. Оптимальное значение рН должно быть на уровне 9, что обеспечивает щадящее удаление материала без повреждения формы. Следующим этапом является прокалка форм при температуре 850°C - 950°C.

Это необходимо для удаления из форм влаги и остатков модельного состава, наличие которых привело бы к браку. Заключительным этапом является заливка форм расплавленным металлом, который заливается в разогретую форму.

1.12 Расчет шихты и плавильного агрегата

1.12.1 Выбор плавильного агрегата

Для плавки металлов используется индукционная плавильная печь - это электротермическая установка, использующая индукционный нагрев.

Основными типами индукционных печей, применяемых в промышленности, являются:

1. Индукционные тигельные печи
2. Индукционные канальные печи (Рис. 11)

Данные типы индукционных печей позволяют осуществлять плавку и расплавление различных металлических материалов с использованием принципа индукционного нагрева.

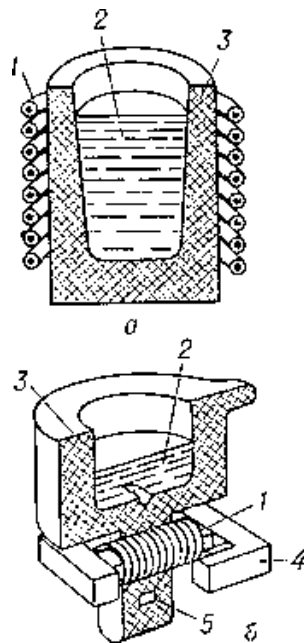


Рис.11 Схемы индукционных плавильных печей:

а — тигельная, б — канальная; 1 — индуктор; 2 — расплавленный металл; 3 — тигель; 4 — магнитный сердечник; 5 — подовый камень с каналом тепловыделения.

Тигельная индукционная печь состоит из следующих основных элементов:

1. Индуктор - соленоид, выполненный из медной водоохлаждаемой трубки.

2. Тигель, изготовленный из керамических материалов, а в специальных случаях - из графита, стали и других материалов, в зависимости от свойств расплавляемого материала.

В тигельных индукционных печах выплавляют широкий спектр металлов и сплавов, в том числе: - Сталь, чугун - Драгоценные металлы - Медь, алюминий, магний. Печи выпускаются с различной вместимостью тигля - от нескольких килограммов до нескольких сотен тонн.

Конструкция тигельных печей может быть: открытой, вакуумной, газонаполненной и компрессионной. Питание печей осуществляется токами низкой, средней и высокой частоты. Основные узлы канальной индукционной печи: плавильная ванна и т. н. индукционная единица, в которую входят подовый камень, магнитный сердечник и индуктор.

Основное отличие индукционных канальных печей от тигельных заключается в том, что процесс преобразования электромагнитной энергии в тепловую происходит непосредственно в канале тепловыделения.

Этот канал должен быть постоянно заполнен электропроводящим материалом. Для первоначального запуска канальных печей в канал заливается расплавленный металл или вставляется шаблон из материала, который будет плавиться. После завершения плавки, металл не сливается полностью, оставляя "болото", чтобы обеспечить заполнение канала для последующего пуска.

В свою очередь, индукционные тигельные печи, используемые как плавильные устройства, обладают рядом преимуществ:

- Возможность получения чистых металлов и сплавов с точным составом
 - Стабильность свойств металла
 - Низкий угар и высокая производительность
 - Удобство эксплуатации, возможность автоматизации и минимальное воздействие на окружающую среду
- Однако, тигельные печи также имеют некоторые недостатки:
- Относительно низкая температура шлаков
 - Невысокая стойкость футеровки - Высокая стоимость электрооборудования, особенно на высоких частотах
 - Более низкий КПД установки

Таблица.6 «В качестве примера, для плавки стали марки 10X18Н9БЛ применяется индукционная тигельная печь типа ИСТ-0,25/0,32-И1».

Наименование параметра	Численные значения параметра
Ёмкость печи (по стали), кг	250
Допустимая температура перегрева металла, °С	1600
Номинальная мощность питающего преобразователя, кВт	320
Максимальная скорость плавки, т/ч	0,49
Время расплавления и перегрева, ч	0,51
Площадь, занимаемая изделием, м ²	28

1.12.2 Разработка технологии плавки сплава

Плавку стали в индукционных тигельных печах можно осуществлять как кислым (на основе SiO_2), так и основным (на основе MgO) процессом.

При использовании кислого тигля в индукционных печах, аналогично кислым дуговым печам, не рекомендуется плавить стали с высоким содержанием марганца, титана и других элементов. Это связано с тем, что кислые футеровки не устойчивы к взаимодействию с такими элементами.

В данном случае предпочтительнее использовать основные футеровки, которые более стойки к агрессивному воздействию легирующих добавок алюминия, циркония и других активных элементов из-за возможного преждевременного износа кислой футеровки из-за оксидов марганца и восстановления титаном, алюминием, цирконием кремниевого шлака и футеровки.

Особенности процесса кислой индукционной плавки стали:

1. В кислых индукционных печах, как и в других кислых плавильных процессах, не создаются благоприятные условия для удаления фосфора и серы из металла в шлак. Поэтому содержание этих вредных примесей в исходной шихте должно быть изначально низким.

2. Также в индукционных печах из-за более низкой температуры шлака и большей глубины ванны менее эффективно происходит окисление углерода. Следовательно, содержание углерода в шихте не рекомендуется превышать более чем на 0,1% от требуемого в готовой стали.

3. Плавку в кислых индукционных печах осуществляют без предварительного окисления, легирующие добавки вводят непосредственно в расплав. Ввиду быстроты процесса плавки невозможен многократный контроль состава, поэтому точный расчет и дозирование шихтовых материалов имеют особую важность.

4. При загрузке шихты в индукционную печь важно обеспечить рациональный подбор размеров кусков и их плотную укладку для эффективного нагрева.

5. В начале плавления возможны скачки тока из-за плохого контакта кусков шихты, поэтому сначала используют пониженную мощность, постепенно переходя на полную.

1.12.3 Расчет шихты

При формировании шихты для индукционных печей важно рационально подбирать размеры кусков шихтовых материалов и обеспечивать их плотную укладку в печи. Использование слишком мелких кусков приводит к недостаточной генерации удельной мощности, что увеличивает время плавления и расход электроэнергии. При выборе состава шихты необходимо учитывать влияние химических элементов на структуру и свойства получаемой стали.

Состав шихты должен обеспечивать содержание всех элементов после расплавления, близкое к заданному в готовой стали. Необходимо иметь исходные данные, на основании которых производится расчет и подбор шихтовых материалов.

Химический состав стали 10X18Н9БЛ по ГОСТ 977-88 [3]:

Таблица 7 «Химический состав»

Марка стали	Массовая доля элемента, %						
Обозначение по ГОСТ 977	Железо	Углерод	Марганец	Никель	Хром	Фосфор	Сера
						не более	
10X18Н9БЛ	58-62	≤0,1	2	12-18	17-20	0,025	0,025

Плавка сплава будет осуществляться в индукционной тигельной печи, вместимость которой составляет от 60 кг до 10 тонн.

Продолжительность плавки в таких печах обычно не превышает 1-1,3 часа. Для футеровки тиглей выбрана кислая футеровка, которая имеет вдвое большую стойкость по сравнению с основной футеровкой, при этом стоимость ниже.

Существует три основных метода расчета шихты для индукционных печей: метод подбора, аналитический метод и графический метод.

Расчет шихты методом подбора

Дано:

Масса металлической заправки на одну заливку 10 кг.

Угар элементов при плавке, % 9 Ni; 20 Cr и пригар 10 С.

Химический состав стали шихтовых материалов приведен в таблице ниже:

Таблица 8 «Состав шихтовых компонентов»

Компоненты	C	Ni	Cr	P	S
Возврат собственного производства	0,1	9	19	0,04	0,045
Стальной лом	0,2	12	22	0,05	0,05

Решение:

С учетом угара в шихту необходимо ввести кремния и марганца:

$$\mathfrak{E}_{Ni} = \frac{21 * 100}{(100 - 21) * 100} = 26,5\%$$

$$\mathfrak{E}_{Cr} = \frac{41 * 100}{(100 - 41) * 100} = 69,5\%$$

Определим процентное содержание компонентов в шихте. В соответствии с составом шихты необходимо составить из 2-х сортов металла. С учетом имеющихся шихтовых материалов и химического состава подбираем массу отдельных компонентов колоши, производим расчет элементов в колоше:

Таблица 9 – «Расчет содержания элементов в колоше»

Наименование материала	Содержание в шихте		Химический состав, %				
	кг	%	C	Ni	Cr	P	S
Возврат собственного производства	8	80	$0,8 \cdot 0,1 = 0,08$	$0,8 \cdot 9 = 7,2$	$0,8 \cdot 19 = 15,2$	$0,8 \cdot 0,04 = 0,032$	$0,8 \cdot 0,05 = 0,04$
Стальной лом	2	20	$0,2 \cdot 0,04 = 0,008$	$0,2 \cdot 12 = 2,4$	$0,2 \cdot 22 = 4,4$	$0,2 \cdot 0,035 = 0,007$	$0,2 \cdot 0,05 = 0,01$
Итого	10	100	0,12	9,6	19,6	0,067	0,071

На основании расчета шихты методом подбора можно записать состав шихты металлической заправки массой 10 кг:

Таблица 10 «Итоги расчета»

Наименование составляющих	Содержание, кг
Возврат собственного производства	8
Стальной лом	2
Феррохром ФХ025 ГОСТ 4757-91	6
Ферроникель ФН90 ГОСТ 849-97	2
Итого	10

1.13 Заключительные этапы процесса: формовка, заливка, выбивка, очистка и отделение отливок

а) формовка

Для предотвращения разрушения оболочки ее можно заформовать в опорный наполнитель, которым являются огнеупорные материалы, такие как сухой кварцевый песок и шамотный порошок.

Основным критерием выбора опорного наполнителя является высокая огнеупорность и одинаковый с материалом оболочки температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), что позволяет исключить

возникновение напряжений и появление трещин в оболочке. Допускается также заливка оболочки без опорного материала.

Используются два метода заформовки оболочки в опорный наполнитель: формовка в холодном состоянии и в горячем. В данном случае применяется холодный метод, при этом перед заливкой система прогревается до 900°C , что позволяет получить преимущества горячего метода.

б) заливка

Как уже было отмечено ранее, металл заливается в предварительно нагретую систему. В зависимости от состава сплава, заливка может происходить как в вакуумной среде, так и на открытом воздухе. В данной ситуации речь идет о сплаве общего назначения, поэтому заливка выполняется в атмосферных условиях.

в) Выбивка и отделение отливок от литейной пресс-формы

На следующем этапе используются вибрационные машины для удаления корки, образовавшейся на блоках отливок после выбивки. За счет ударных вибраций происходит разрушение и отделение керамической оболочки с поверхности металлического блока. Далее блоки отливок подвергаются отрубке на вертикальных гильотинных устройствах.

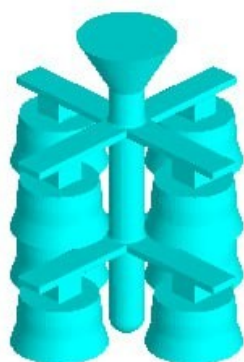
г) Доводка отливок

Для очистки отливок применяется дробеструйная обработка. Для создания высокоскоростной струи дроби используются всасывающие и нагнетательные дробеструйные аппараты.

1.14 Моделирование процессов

Для проверки нашей ЛПС проведем расчет процесса заливки и затвердевания металла в ПО NovaFlow & Solid CV 4.6r4.

Добавим уже готовую 3D-модель и создадим оболочку толщиной в 5 мм:



Параметры оболочки

Список тел

Габариты тел, миллиметры

вдоль X:	0.00
вдоль Y:	0.00
вдоль Z:	0.00

Толщина оболочки, миллиметры

5.00

Размер ячейки, миллиметры

2.50

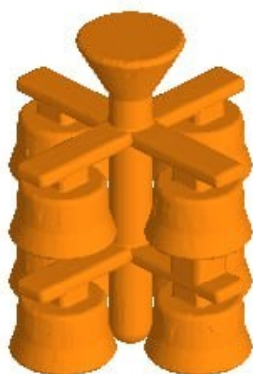
Количество ячеек

вдоль X:	10
вдоль Y:	10
вдоль Z:	10

Всего : 1 000

Да Отмена

Рис.11 «Добавление оболочки»



Параметры сеточной модели

Число ячеек Толщина формы Размер бокса Граничные условия

☒ Отсечь часть отливки выше текущего сечения
☐ Отсечь часть отливки ниже текущего сечения
☐ Установить текущее сечение как пл.симметрии

Применить

Размер расчетной области

по X, мм	420.000	Положение отливки	по X, мм	210.000
по Y, мм	420.000	по Y, мм	210.000	
по Z, мм	480.000	по Z, мм	240.000	

Да Отмена Применить Паспорт

Рис. 12 «Создание сетки»

✓	Отливка		
✓	Mold - Ceramic	Материал формы	20.000
✓	Сталь 10X18H9БЛ	Сплав	1600.000
✓	Прочее		
	Mold - Green Sand(S)	Материал формы	20.000
✓	Air - In mold	Среда полости	20.000

Рис. 13 «Назначение материалов и их начальных температур»

Параметры заливки

Масса отливки, кг: 20.643

Критерий останова: Объем заполненного, %: 100.000

Текущий литник: 1 Всего: 1

Площадь сечения, мм²: 64.293

Тип заливки: Гравитационное литье

Сечение струи, мм²: 64.293

Коэффициент сопротивления: 0.900

PH = pressure height (constant)

Pouring basin Feeder Casting

Filling system

Section area Gating point

#	Время, с	Сплав	Напор, мм	Поток, кг/с
1	5.320	EN-GJS-400-15 (S)	413.712	1.105

Добавить Удалить Да Отмена

Рис.14 «Задание параметров заливки»

Производим процесс моделирования для получения точных данных о дефектах, времени заполнения и затвердевания.

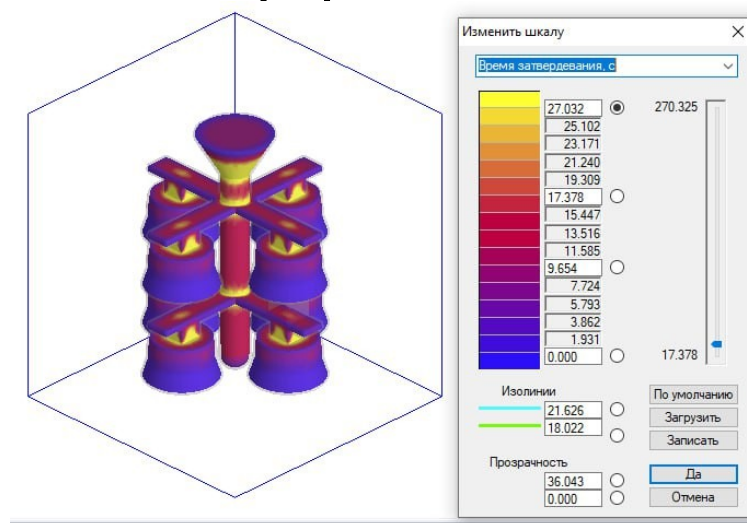


Рис. 15 «Время затвердевания»

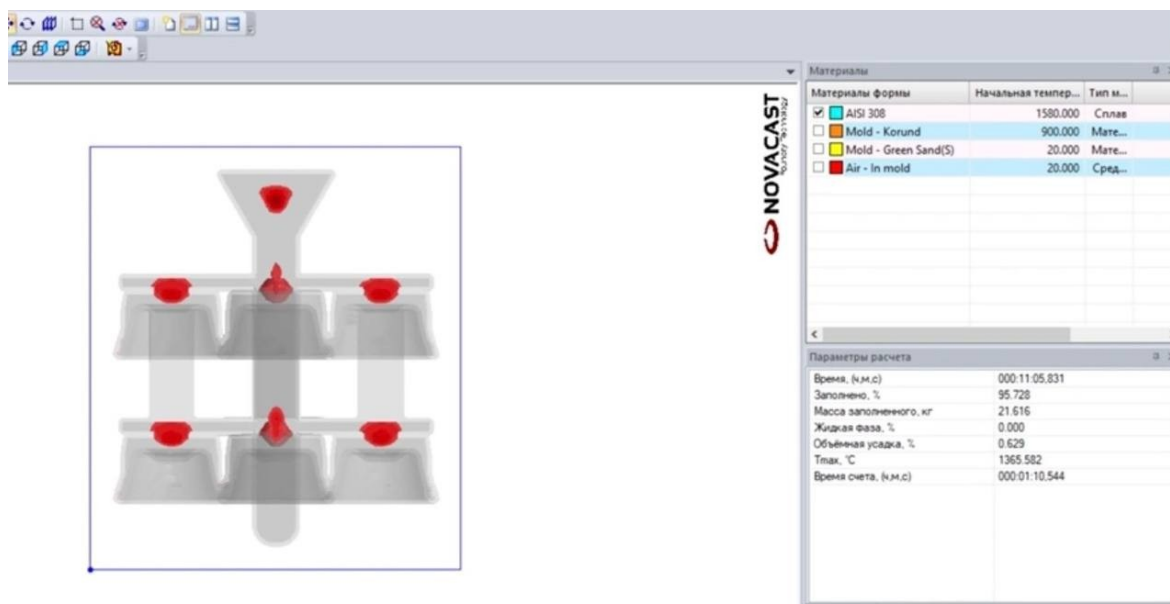


Рис. 16 «Усадка»

Результаты компьютерного моделирования литейного процесса показали, что существует вероятность возникновения усадочных дефектов в отливке на уровне до 2%. Этот факт необходимо учитывать при окончательной корректировке конструкции литниково-питающей системы и оптимизации технологических параметров литья. Выявленная по итогам моделирования возможность появления усадочных дефектов в определенной степени обусловлена упрощениями, принятыми на этапе проектирования литейной технологии. Ввиду учебного характера работы, ряд конструктивных особенностей, влияющих на качество отливки, не учитывался в полной мере. Таким образом, основные моменты заключаются в следующем: Компьютерное моделирование выявило возможность возникновения до 2% усадочных дефектов в отливке. Это требует корректировки конструкции литниково-питающей системы и оптимизации параметров литейного процесса. Неучтенные конструктивные особенности, характерные для учебной работы, могли повлиять на точность моделирования и прогнозирование дефектов.

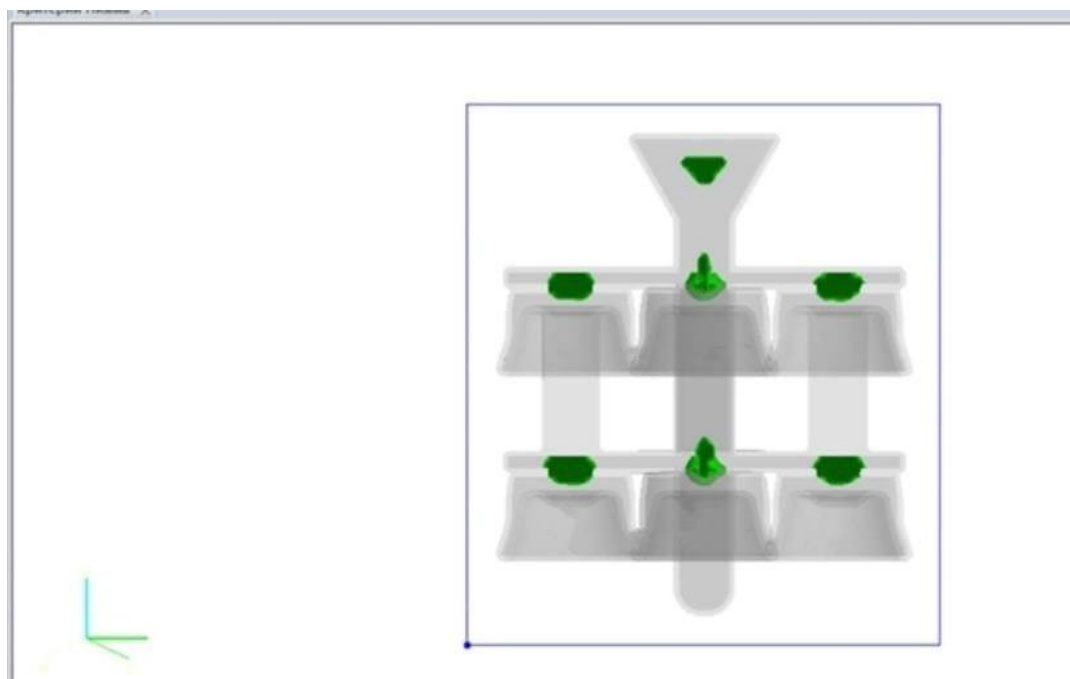


Рис. 17 «Критерий Ниямы»

Использование критерия Ниямы для анализа микропористости отливки позволило получить объективную картину качества литого изделия. Значения критерия, превышающие нормативный порог, свидетельствуют об эффективности принятых технологических решений и их соответствии требованиям к готовой продукции. Полученные высокие показатели критерия Ниямы подтверждают, что проектируемый литейный процесс обеспечивает формирование отливки с минимальным уровнем микропористости. Это является важным фактором, определяющим эксплуатационные характеристики и надежность изготавливаемой детали. Анализ критерия Ниямы позволил всесторонне оценить качество литой заготовки и подтвердить эффективность разработанной технологии литейного производства. Таким образом, основной вывод заключается в том, что применение критерия Ниямы показало, что разработанная технология литья обеспечивает высокое качество отливки с минимальным уровнем микропористости, что подтверждает эффективность принятых технологических решений.

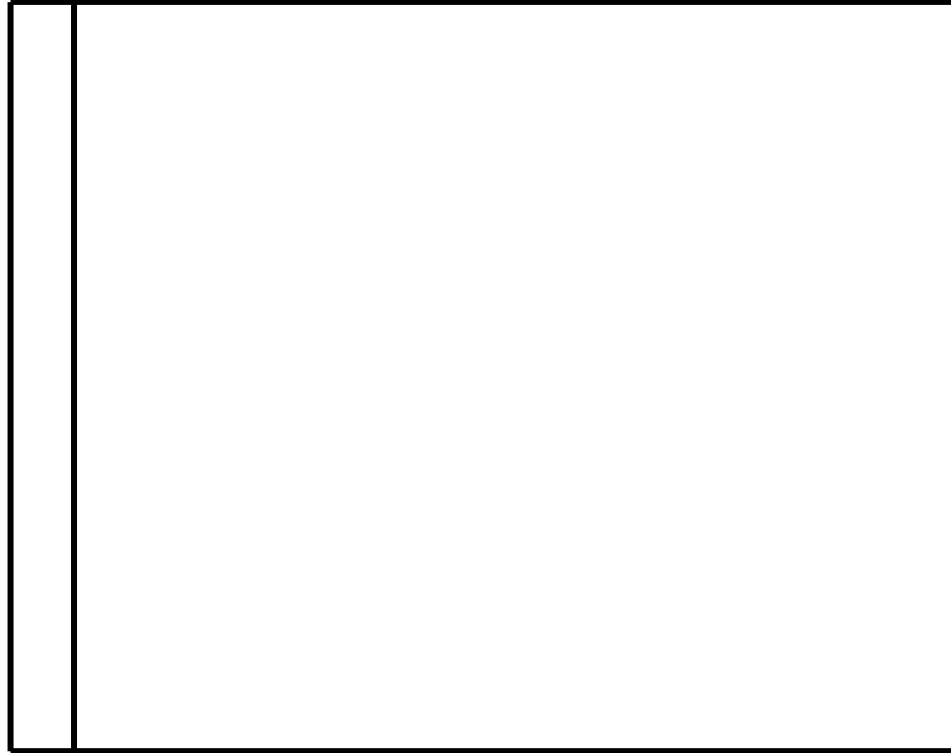


2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В специальной части выпускной квалификационной работы будут представлены основные этапы разработки управляющей программы: технологическая подготовка данных, разработка технологического процесса, разработка управляющей программы с использованием автоматизированных средств.

На основе чертежа детали «Чашка ПЗУ» разработаем технологический процесс её изготовления на токарно-фрезерном обрабатывающем центре.

По итогу проделанной работы будет создан технологический маршрут обработки и определяющие режимы резания.



2.1 Определение количества ступеней обработки основных поверхностей

План обработки поверхности представляет собой последовательную совокупность методов, применяемых для обработки каждого элемента поверхности изделия. Этот план разрабатывается с целью обеспечения достижения заданных показателей точности и качества поверхностного слоя.

Применение избыточных ступеней обработки приводит к необоснованному увеличению себестоимости изготовления детали. Количество ступеней обработки анализируемой поверхности можно

$$K_{\Sigma} = T_{3a2} / T_{dem}.$$

КТОМП.2024.201135.03

От 020 Задающий
Заказчик - отливка
Точность отливки 8-7-9-7 ГОСТ Р 53464-2009
√R0.15
От 025 Термическая
Нормализация 870-890°C

От 020 Точнейшая
Заказка К050-1100°C

От 070 Токарная с ЧПУ

И6-56
И1-12 абразит (И)
√R0.63

От 075 Токарная с ЧПУ

И6-56
И1-12 абразит (И)
√R0.63

От 020 Точнейшая
Заказка К050-1100°C

От 025 Контрольная

От 030 Покрытые

От 020 Точнейшая
Заказка К050-1100°C

От 025 Контрольная

От 030 Покрытые

От 020 Точнейшая
Заказка К050-1100°C

От 025 Контрольная

От 030 Покрытые

Рисунок 2.1 – «План обработки детали «Чашка ПЗУ»

2.2 Формирование укрупненного плана технологического процесса

Номер операции	Наименование и содержание операции	Оборудование
Оп. 000	Заготовительная 1. Заготовка детали – отливка. 2. Материал детали – СЧ30	
Оп. 005	Термическая обработка Для улучшения обрабатываемости резанием	Термическая печь
Оп. 010	Черновая обработка	Токарный станок с ЧПУ с

		2 установками: шпиндель и противошпиндель
Оп. 015	Чистовая обработка: 1. Подрезка торцев детали 2. Растачивание отверстия	Токарный станок с ЧПУ
Оп. 020	Термическая обработка Для улучшения обрабатываемости резанием; для снятия остаточных напряжений; для достижения свойств, заданных конструктором.	Термическая печь
Оп. 025	Окончательный контроль: внешний осмотр деталей; проверка соответствия их требованиям технических условий; проверка размеров, заданных в чертежах и операционных картах; проверка механических свойств	Контрольноизмерительная машина

2.3 Определение осевых операционных размеров и осевых размеров заготовки.

Составление эскиза совмещённых переходов и выявление осевых размерных цепей является важным этапом технологической подготовки производства.

Эскиз совмещённых переходов (ЭСП) строится на основе плана обработки поверхности в соответствии с технологическим процессом.

Размеры наносятся в порядке их получения - от размеров заготовки до размеров готовой детали. После нанесения каждого размера и припуска,

формируется соответствующая размерная цепь, в которой припуск является замыкающим звеном.

На контрольной операции осуществляется проверка соответствия конструкторским размерам. Если какой-либо конструкторский размер не достигается в ходе обработки, то строится дополнительная размерная цепь, в которой этот конструкторский размер является замыкающим звеном.

Построение эскиза совмещённых переходов начинается с нанесения конфигурации заготовки и её начальных размеров в верхней части эскиза. Операционные и конструкторские размеры указываются в нижней части эскиза.

Строим эскиз совмещённых переходов осевых размеров:

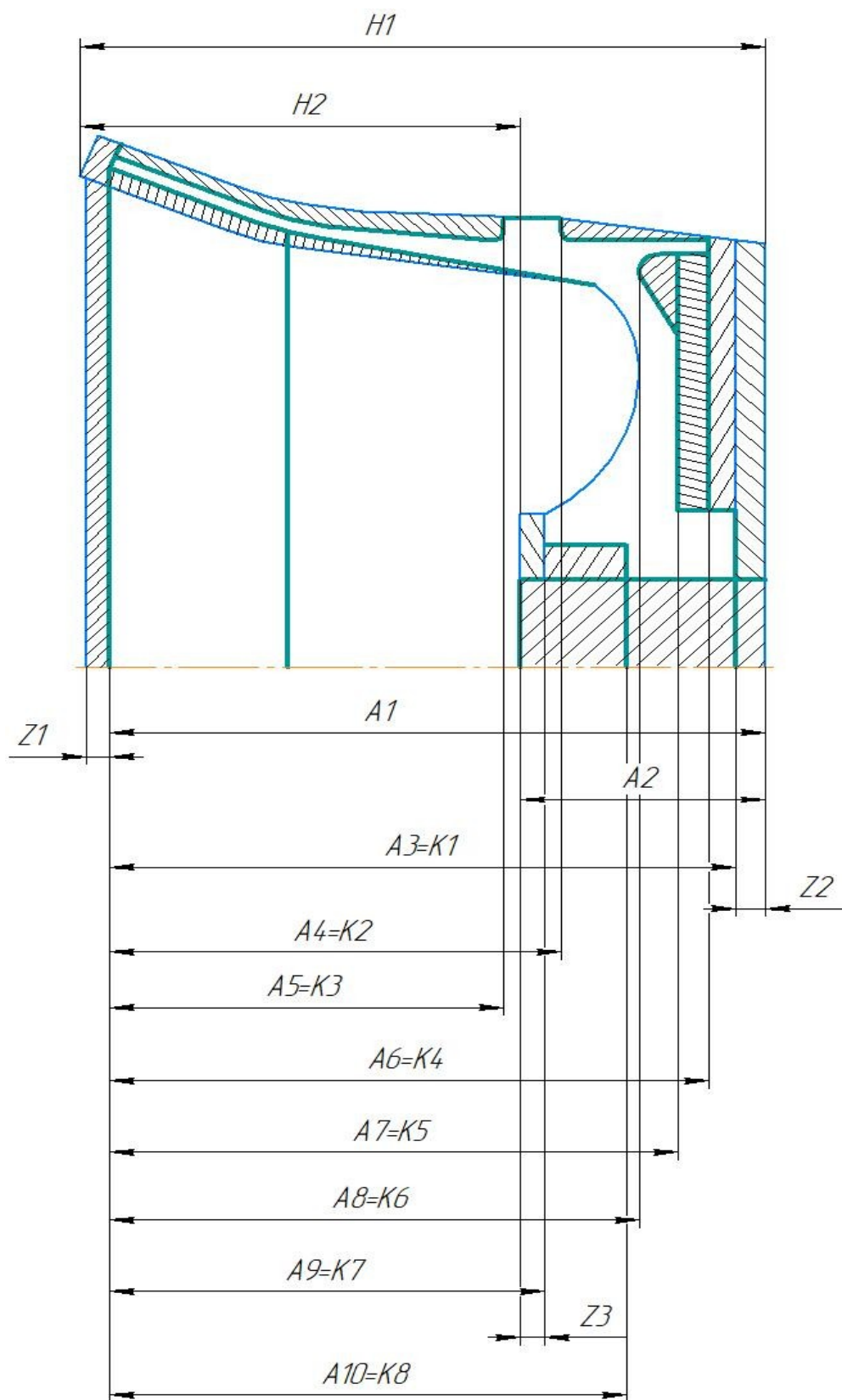


Рис. 2.2 «Эскиз совмещенных переходов осевых размеров.»

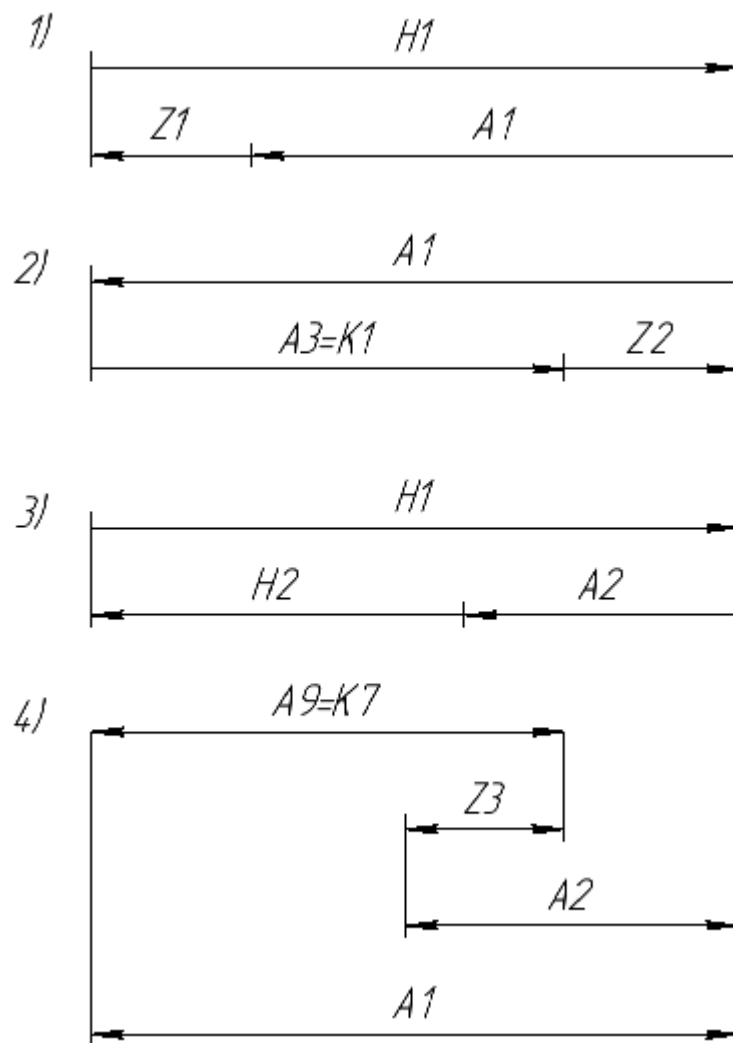


Рис. 2.3 «Осевые размерные цепи»

Таблица 2.1 «Порядок решения размерных цепей»

№ п/п	№ цепи	Замыкающее звено	Определяемые параметры
1	2	Z2	A1, TA1
2	1	Z1	H1, TH1
3	4	Z3	A2, TA2
4	3	A2	H2, TH2

2.2 Обоснование выбора методов и способов решения осевых размерных цепей

Минимальные значения припусков Z1, Z2, Z3 определяем расчетно-аналитическим методом через составляющие минимального припуска по формуле:

$$Z_{i_{min}} = R_{Z_{i-1}} + T_{\Pi_{i-1}} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{i-1/i} \quad (1)$$

где $R_{Z_{i-1}}$, мкм – шероховатость поверхности после предыдущей обработки;

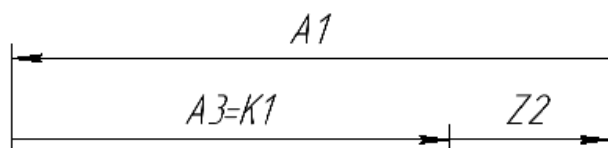
$T_{\Pi_{i-1}}$, мкм – глубина дефектного слоя поверхности после предыдущей обработки в связи с обезуглероживанием, коррозией, наклепом, образованием трещин и т. п.;

ρ_{i-1} , мкм – суммарная погрешность формы и расположения поверхности, после предыдущей обработки;

$\varepsilon_{i-1/i}$ – суммарная погрешность установки и закрепления на предыдущем и выполняемом установках.

2.3 Расчет размерных цепей

1) Цепь 2



Известно: $A3=K1=67 \pm 0,15$ мм

Найти: A1

Замыкающее звено: Z2

В данной цепи замыкающим звеном является припуск Z2, общее количество звеньев – 3, поэтому решим ее методом максимума-минимума.

Допуск замыкающего звена определяется по формуле:

$$T_{\Sigma} \geq \sum T_i$$

Где T_i – допуск i -го составляющего звена.

Минимальный припуск $Z_{2\min}$ определяем по формуле (1):

$$Z_{2\min} = R_{Z_1} + T_{\Pi_1} + \rho_1 + \varepsilon_{1/2},$$

Где $R_{Z_1} = 0,03$ мм, $T_{\Pi_1} = 0,1$ мм [Авраменко, стр.10, табл. 2.7].

$$\rho_1 = \Delta_K * L,$$

Где Δ_K – удельная кривизна обрабатываемой поверхности, $\Delta_K = 1$ мкм/мм [авраменко, стр.17, табл. 2.12], L – длина обрабатываемой поверхности, $L = 67$ мм. Тогда $\rho_1 = 0,001 * 67 = 0,067$ мм

$$\varepsilon_{1/2} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2},$$

Где ε_{δ} – погрешность базирования, $\varepsilon_{\delta} = 0$ [авраменко, стр.19, табл. 2.14].

ε_3 – погрешность закрепления. $\varepsilon_3 = 0,1$ мм [Авраменко, стр.27, табл. 2.19].

$$\varepsilon_{1/2} = \sqrt{0 + 0,1^2} = 0,1 \text{ мм}$$

Тогда

$$Z_{2\min} = 0,03 + 0,1 + 0,067 + 0,1 = 0,297 \text{ мм}$$

Допуск замыкающего звена:

$$T_{Z_2} \geq T_{A_1} + T_{A_3}$$

Определим допуск T_{A_1} по ГОСТ 25346-13 [17, стр. 7, табл. 1]: $T_{A_1} = 0,3$ мм

$$T_{Z_2} \geq 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ мм}$$

Максимальный припуск $Z_{2\max}$:

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + T_{Z_2} = 0,297 + 0,6 = 0,897 \text{ мм}$$

Средний припуск:

$$Z_{2cp} = \frac{Z_{2max} + Z_{2min}}{2} = \frac{0,897 + 0,297}{2} = 0,597 \text{ мм}$$

Цепь решаем способом средних значений. При использовании данного метода допуски размеров задаются симметрично. Это удобно при программировании станков с ЧПУ, и при наличии в расчетах размеров отливок, допуск которых задается симметрично.

Определим среднее значение составляющего звена:

$$A_{\Sigma cp} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A}_{i cp} - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A}_{i cp}$$

Где $A_{\Sigma cp}$ – среднее значение замыкающего звена, $\overrightarrow{A}_{i cp}, \overleftarrow{A}_{i cp}$ – среднее значение i -го составляющего увеличивающего и уменьшающего звена соответственно; m, n – количество составляющих увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

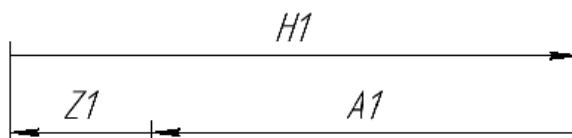
$$Z_{2cp} = A_{1cp} - A_{3cp}$$

$$A_{1cp} = Z_{2cp} + A_{3cp} = 0,597 + 67 = 67,597 \text{ мм}$$

Т.к. допуск задан по симметричной схеме, среднее значение размера A_{1cp} является номинальным размером A_1 . Полученное номинальное значение округляем по ряду предпочтительного окончания размеров [ОСТ 1.41512-86, стр. 3, табл. 3] в сторону увеличения припуска.

$$A_1 = 67,8 \pm 0,15 \text{ мм}$$

2) Цепь 1



Известно: $A_1 = 67,8 \pm 0,15 \text{ мм}$

Найти: H1

Замыкающее звено: Z1

Данная цепь подобна предыдущей, решим ее методом максимума-минимума.

Минимальный припуск Z_{1min} определяем по формуле (1):

$$Z_{1min} = R_Z + T_{II} + \rho_{\square} + \varepsilon,$$

Где $R_Z = 0,03$ мм, $T_{II} = 0,1$ мм [Авраменко, стр.10, табл. 2.7].

$$\rho = \Delta_K * L,$$

Где Δ_K – удельная кривизна обрабатываемой поверхности, $\Delta_K = 1$ мкм/мм [авраменко, стр.17, табл. 2.12], L – длина обрабатываемой поверхности, L = 69 мм. Тогда $\rho_1 = 0,001 * 69 = 0,069$ мм

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

Где ε_6 – погрешность базирования, $\varepsilon_6 = 0$, [Авраменко, стр.19, табл. 2.14].

ε_3 – погрешность закрепления, $\varepsilon_3 = 0,1$ мм [Авраменко, стр.27, табл. 2.19].

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 0,1^2} = 0,1 \text{ мм}$$

Тогда

$$Z_{1min} = 0,03 + 0,1 + 0,069 + 0,1 = 0,299 \text{ мм}$$

Допуск замыкающего звена:

$$T_{Z_1} \geq T_{H_1} + T_{A_1}$$

Допуск начального размера заготовки $TH1$ определим по ГОСТ Р 53464- 2009 [стр.6, табл. 1]: $TH1 = 1,4$ мм

$$T_{Z_1} \geq 1,4 + 0,3 = 1,7 \text{ мм}$$

Максимальный припуск $Z_{1_{max}}$:

$$Z_{1_{max}} = Z_{1_{min}} + T_{Z_1} = 0,299 + 1,7 = 1,999 \text{ мм}$$

Средний припуск:

$$Z_{1_{cp}} = \frac{Z_{1_{max}} + Z_{1_{min}}}{2} = \frac{1,999 + 0,299}{2} = 2,298 \text{ мм}$$

Цепь решаем способом средних значений. Определим среднее значение составляющего звена:

$$A_{\Sigma_{cp}} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i_{cp}} - \sum_{i=1}^n \vec{A}'_{i_{cp}}$$

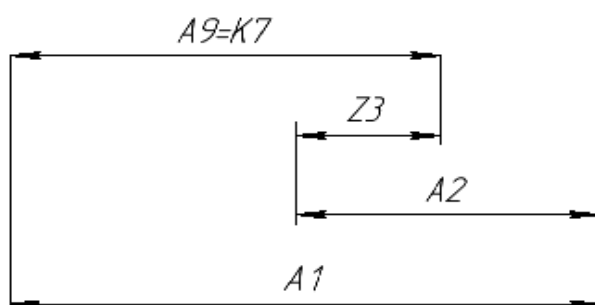
$$Z_{1_{cp}} = H_{1_{cp}} - A_{1_{cp}}$$

$$H_{1_{cp}} = Z_{1_{cp}} + A_{1_{cp}} = 2,298 + 67,8 = 70,098 \text{ мм}$$

Т.к. допуск задан по симметричной схеме, среднее значение размера $H_{1_{cp}}$ является номинальным размером H_1 . Полученное номинальное значение округляем по ряду предпочтительного окончания размеров [ОСТ 1.41512-86, стр. 3, табл. 3] в сторону увеличения припуска.

$$H_1 = 70,3 \pm 0,7 \text{ мм}$$

3) Цепь 4



Известно: $A1 = 67,8 \pm 0,15$ мм,
 $A9 = K7 = 49 \pm 0,15$ мм

Найти: $A2$

Замыкающее звено: Z3

Так как цепь многозвенная решим ее вероятностным методом.

Минимальный припуск Z_{3min} определяем по формуле (1):

$$Z_{3min} = R_Z + T_{II} + \rho_{\square} + \varepsilon,$$

Где $R_Z = 0,03$ мм, $T_{II} = 0,1$ мм [Авраменко, стр.10, табл. 2.7].

$$\rho = \Delta_K * L,$$

Где Δ_K – удельная кривизна обрабатываемой поверхности, $\Delta_K = 1$ мкм/мм [авраменко, стр.17, табл. 2.12], L – длина обрабатываемой поверхности, L = 49 мм. Тогда $\rho_{\square} = 0,001 * 49 = 0,049$ мм

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

Где ε_6 – погрешность базирования, $\varepsilon_6 = 0$ [авраменко, стр.19, табл. 2.14].

ε_3 – погрешность закрепления, $\varepsilon_3 = 0,1$ мм [Авраменко, стр.27, табл. 2.19].

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 0,1^2} = 0,1 \text{ мм}$$

Тогда

$$Z_{3min} = 0,03 + 0,1 + 0,049 + 0,1 = 0,279 \text{ мм}$$

Допуск замыкающего звена:

$$T_{Z_3} \geq \sqrt{T_{A_1}^2 + T_{A_2}^2 + T_{A_3}^2}$$

Определим допуск T_{A_2} по ГОСТ 25346-13 [17, стр. 7, табл. 1]:

$$T_{A_2} = 0,21 \text{ мм}$$

$$T_{Z_3} \geq \sqrt{0,3^2 + 0,21^2 + 0,3^2} = 0,473 \text{ мм}$$

Максимальный припуск $Z_{3_{\max}}$:

$$Z_{3_{\max}} = Z_{3_{\min}} + T_{Z_3} = 0,279 + 0,473 = 0,752 \text{ мм}$$

Средний припуск:

$$Z_{3_{\text{cp}}} = \frac{Z_{3_{\max}} + Z_{3_{\min}}}{2} = \frac{0,752 + 0,279}{2} = 0,516 \text{ мм}$$

Цепь решаем способом средних значений. Определим среднее значение составляющего звена:

$$A_{\Sigma_{\text{cp}}} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i_{\text{cp}}} - \sum_{i=1}^n \vec{A}'_{i_{\text{cp}}}$$

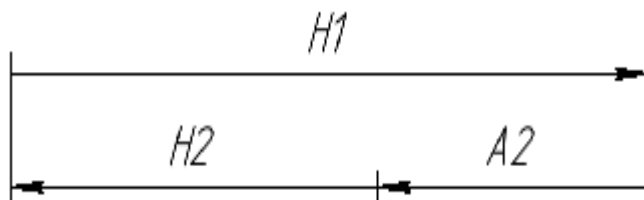
$$Z_{3_{\text{cp}}} = A_{9_{\text{cp}}} + A_{2_{\text{cp}}} - A_{1_{\text{cp}}}$$

$$A_{2_{\text{cp}}} = Z_{3_{\text{cp}}} - A_{9_{\text{cp}}} + A_{1_{\text{cp}}} = 0,516 - 49 + 67,8 = 19,316 \text{ мм}$$

Т.к. допуск задан по симметричной схеме, среднее значение размера $A_{2_{\text{cp}}}$ является номинальным размером A_2 . Полученное номинальное значение округляем по ряду предпочтительного окончания размеров [16, стр. 3, табл. 3] в сторону увеличения припуска.

$$A_2 = 19,4 \pm 0,105 \text{ мм}$$

4) Цепь 3



Известно: $A_2 = 19,4 \pm 0,105 \text{ мм}$,
 $H_1 = 70,3 \pm 0,7 \text{ мм}$

Найти: H_2

Номинальное значение H_2 :

$$H_2 = H_1 - A_2 = 70,3 - 19,4 = 50,9 \text{ мм}$$

Допуск $T H_2$ определим по ГОСТ Р 53464-2009 [стр.6, табл. 1]:
 $T H_2 = 1,2 \text{ мм}$

Таким образом, размер H_2 :

$$H_2 = 50,9 \pm 0,6 \text{ мм}$$

Таблица 2.2

Достижение заданной точности осевых размеров

В рабочем чертеже	Как поддерживается в технологическом процессе	Как заданы операционные допуски
$K_1 = 67 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным подрезанием торца $A_3 = K_{1\text{ср}}$	$A_3 = 67 \pm 0,15$ межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_2 = 49 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным точением поверхности $A_4 = K_{2\text{ср}}$	$A_4 = 49 \pm 0,15$ межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_3 = 43 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным точением поверхности $A_5 = K_{3\text{ср}}$	$A_5 = 43 \pm 0,15$ межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_4 = 62 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным подрезанием торца $A_6 = K_{4\text{ср}}$	$A_6 = 62 \pm 0,15$ межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_5 = 61 \pm 0,15$	Непосредственно	$A_7 = 61 \pm 0,15$ внутриоперационный

	окончательным подрезанием торца $A_7 = K_{5cp}$	размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_6 = 57 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным точением поверхности $A_8 = K_{6cp}$	$A_8 = 57 \pm 0,15$ внутриоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_7 = 49 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным подрезанием торца $A_9 = K_{7cp}$	$A_9 = 49 \pm 0,15$ межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
$K_8 = 58 \pm 0,15$	Непосредственно окончательным подрезанием торца $A_{10} = K_{8cp}$	$A_{10} = 58 \pm 0,15$ внутриоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки

Таблица 2.3

Операционные размеры и припуски

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено - припуск				Метод расчета
		Z_{min}	Z_{max}	Z_{cp}	ΔZ	
A1	$67,8 \pm 0,15$	$Z_{1min} = 0,295$	$Z_{1max} = 1,999$	$Z_{1cp} = 2,298$	$\Delta Z_1 = 1,7$	Максимум-минимум
A3 = K1	$67 \pm 0,15$	$Z_{2min} = 0,295$	$Z_{2max} = 0,897$	$Z_{2cp} = 0,597$	$\Delta Z_2 = 0,6$	Максимум-минимум
A9 = K7	$49 \pm 0,15$	$Z_{3min} = 0,275$	$Z_{3max} = 0,752$	$Z_{3cp} = 0,516$	$\Delta Z_3 = 0,477$	Вероятностный
H1	$70,3 \pm 0,7$	-	-	-	-	-
H2	$50,9 \pm 0,6$	-	-	-	-	-

2.4 Эскиз совмещенных переходов диаметральных цепей и их расчет:

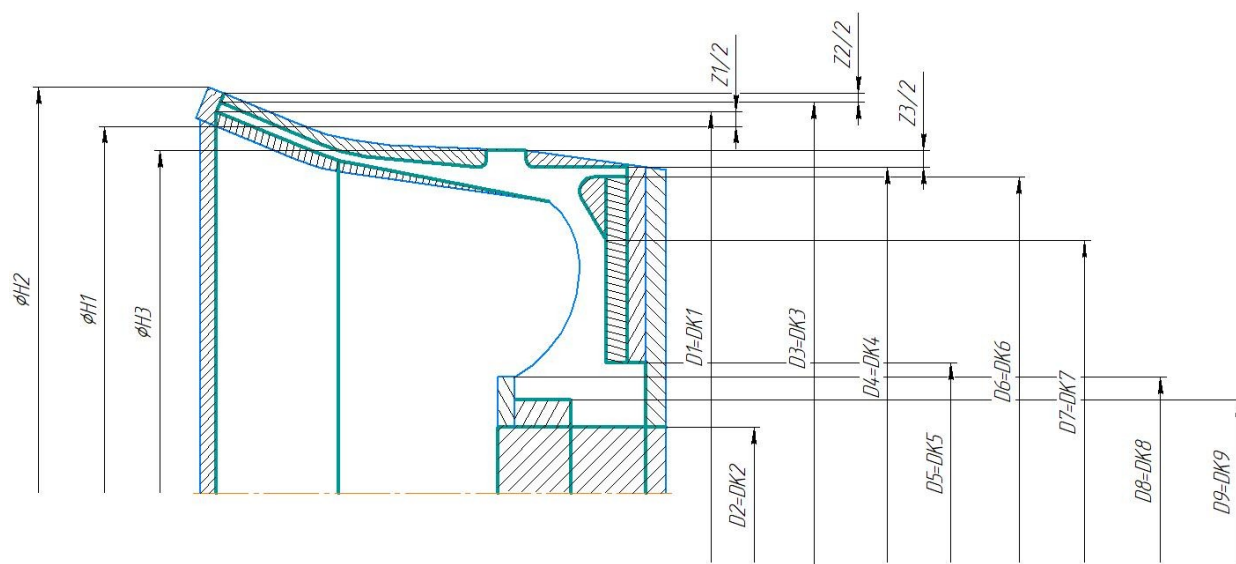


Рис. 2.4 «Эскиз совмещенных переходов диаметральных размеров».

Составляем размерные цепи.

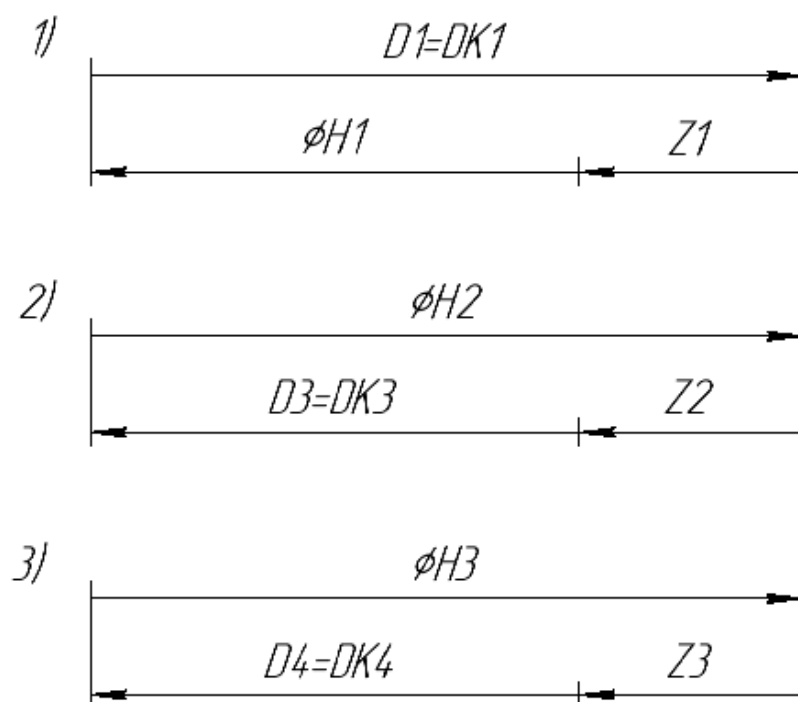


Рис. 2.5 «Диаметральные размерные цепи».

Таблица 2.4

Порядок решения размерных цепей

№ п/п	№ цепи	Замыкающее звено	Определяемые параметры
1	1	Z1	$\phi H1$, T $\phi H1$
2	2	Z2	$\phi H2$, T $\phi H2$
3	3	Z3	$\phi H3$, T $\phi H3$

Обоснование выбора методов и способов решения диаметральных размерных цепей

Применение метода максимума-минимума при определении операционных диаметральных размеров допускается только для расчета

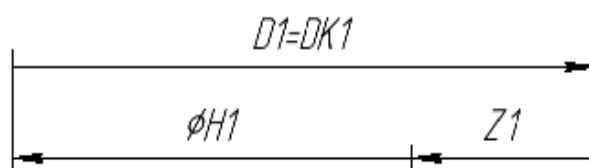
трехзвенных размерных цепей. При этом должны выполняться следующие условия: - не учитываются погрешности формы и расположения обрабатываемой заготовки; - не учитываются погрешности ее установки в приспособлении.

Однако, для снижения себестоимости изготовления деталей, необходимо обеспечить: - минимальный операционный припуск, чтобы гарантировать удаление дефектов предшествующей обработки; - уменьшение максимального операционного припуска, что позволяет снизить среднюю глубину резания при однократной обработке или количество проходов. Поэтому для расчетов операционных размеров более целесообразно применять вероятностный метод, а не метод максимума-минимума.

Минимальные значения припусков Z_1, Z_2, Z_3 определяем расчетно-аналитическим методом через составляющие минимального припуска по формуле:

$$Z_{i_{min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{\Pi_{i-1}}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \quad (2)$$

1) Цепь 1



Известно: $\varnothing 1 = \varnothing K1 = 116^{+0,35}$ мм;

Найти: $\varnothing H1$

Замыкающее звено - Z_1 .

Определим минимальный припуск $Z_{1_{min}}$ по формуле (2):

$$Z_{i_{min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{\Pi_{i-1}}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2},$$

Где $R_Z = 0,03$ мм, $T_{\Pi} = 0,1$ мм [Авраменко, стр.10, табл. 2.7].

$$\rho = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{кор}^2},$$

Где $\rho_{см}$ – смещение обрабатываемой поверхности относительно базовой, $\rho_{см} = \delta$ – допуск на диаметральный размер базовой поверхности заготовки, используемой при зацентровке, $\delta = 1,4$ мм.

$\rho_{кор}$ – величина коробления обрабатываемой поверхности, $\rho_{кор} = \frac{\Delta_k L}{2}$, Δ_k – удельная кривизна обрабатываемой поверхности, $\Delta_k = 1$ мкм/мм [авраменко, стр.17, табл. 2.12], L – длина обрабатываемой поверхности, L = 52 мм. Тогда $\rho_{кор} = 0,001 \times 52 = 0,052$ мм.

$$\rho_3 = \sqrt{1,4^2 + 0,052^2} = 1,4 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

Где ε_6 – погрешность базирования, $\varepsilon_6 = 0$ [авраменко, стр.19, табл. 2.14].

ε_3 – погрешность закрепления, $\varepsilon_3 = 1,2$ мм [авраменко, стр.27, табл. 2.19].

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 1,2^2} = 1,2 \text{ мм}$$

$$Z_{1_{min}} = 2 * (0,03 + 0,1) + \sqrt{1,4^2 + 1,2^2} = 2,1 \text{ мм}$$

Допуск замыкающего звена:

$$T_{Z_1} \geq \sqrt{T_{\phi 1}^2 + T_{\phi H 1}^2}$$

Допуск размера ϕH_1 определим по ГОСТ Р 53464-2009 [стр.6, табл. 1]:

$$T_{\phi H 1} = 1,6 \text{ мм}$$

$$T_{Z_1} \geq \sqrt{0,35^2 + 1,6^2} = 1,64 \text{ мм}$$

Максимальный припуск $Z_{1_{max}}$:

$$Z_{1_{max}} = Z_{1_{min}} + T_{Z_1} = 2,1 + 1,64 = 3,74 \text{ мм}$$

Средний припуск:

$$Z_{1cp} = \frac{Z_{1max} + Z_{1min}}{2} = \frac{3,74 + 2,1}{2} = 2,92 \text{ мм}$$

Для упрощения последующих расчетов это значение можно принять номинальным припуском: $Z_{1cp} = Z_{1ном} = 2,92 \text{ мм}$

Определим номинальное значение составляющего звена:

$$A_{\Sigma ном} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i ном}} - \sum_{i=1}^n A'_{i ном},$$

где $A_{\Sigma ном}$ - номинальное значение замыкающего звена, $\overrightarrow{A_{i ном}}, A'_{i ном}$ - номинальное значение i -го составляющего увеличивающего и уменьшающего звена соответственно; m, n - количество составляющих увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

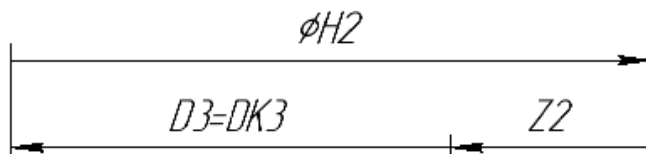
$$Z_{1 ном} = \varnothing 1_{ном} - \varnothing H 1_{ном}$$

$$\varnothing H 1_{ном} = \varnothing 1_{ном} - Z_{1 ном} = 116 - 2,92 = 113,08 \text{ мм}$$

Размер $\varnothing H 1$ - «охватывающий», поэтому допуск $T\varnothing H 1$ задаётся в «тело». Полученное номинальное значение округляется по ряду предпочтительного окончания размеров [16, стр. 2, табл. 2] в сторону увеличения припуска.

$$\varnothing H 1 = 113^{+1,6} \text{ мм}.$$

2) Цепь 2



Известно: $\varnothing 3 = \varnothing K 3 = 119,7_{-0,35} \text{ мм}$;

Найти: $\varnothing H 2$

Замыкающее звено - $Z 2$.

Определим минимальный припуск Z_{2min} по формуле (2):

$$Z_{i_{min}} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{\Pi_{i-1}}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2},$$

Где $R_Z = 0,03$ мм, $T_{\Pi} = 0,1$ мм [Авраменко, стр.10, табл. 2.7].

$$\rho = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{кор}^2},$$

Где $\rho_{cm} = \delta, \delta = 0,35$ мм.

$\rho_{кор} = \Delta_{\kappa} L$, $\Delta_{\kappa} = 1$ мкм/мм [авраменко, стр.17, табл. 2.12], $L = 43$ мм. Тогда
 $\rho_{кор} = 0,001 \times 43 = 0,043$ мм.

$$\rho_3 = \sqrt{0,35^2 + 0,043^2} = 0,35 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

Где $\varepsilon_6 = 0$ [авраменко, стр.19, табл. 2.14].

$\varepsilon_3 = 1,2$ мм [авраменко, стр.27, табл. 2.19].

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 1,2^2} = 1,2 \text{ мм}$$

$$Z_{2_{min}} = 2 * (0,03 + 0,1) + \sqrt{0,35^2 + 1,2^2} = 1,51 \text{ мм}$$

Допуск замыкающего звена:

$$T_{Z_2} \geq \sqrt{T_{\phi 3}^2 + T_{\phi H 2}^2}$$

Допуск размера $\phi H1$ определим по ГОСТ Р 53464-2009 [стр.6, табл. 1]:

$$T_{\phi H 2} = 1,6 \text{ мм}$$

$$T_{Z_2} \geq \sqrt{0,35^2 + 1,6^2} = 1,64 \text{ мм}$$

Максимальный припуск $Z_{2_{max}}$:

$$Z_{2_{max}} = Z_{2_{min}} + T_{Z_2} = 1,51 + 1,64 = 3,15 \text{ мм}$$

Средний припуск:

$$Z_{2cp} = \frac{Z_{2max} + Z_{2min}}{2} = \frac{3,15 + 1,51}{2} = 2,33 \text{ мм}$$

Для упрощения последующих расчетов это значение можно принять номинальным припуском: $Z_2 = Z_{2ном} = 2,33 \text{ мм}$

Определим номинальное значение составляющего звена:

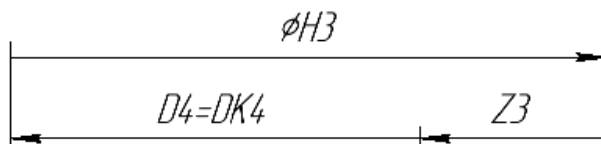
$$A_{\Sigma ном} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i ном}} - \sum_{i=1}^n A'_{i ном},$$

$$Z_{2 ном} = \varnothing H 2_{ном} - \varnothing 3_{ном}$$

$$\varnothing H 2_{ном} = Z_{2 ном} + \varnothing 3_{ном} = 2,33 + 119,7 = 122,03 \text{ мм}$$

Размер $\varnothing H 2$ – «охватываемый», поэтому допуск $T_{\varnothing H 2}$ задаётся в «тело». Полученное номинальное значение округляется по ряду предпочтительного окончания размеров [16, стр. 2, табл. 1] в сторону увеличения припуска.

$$\varnothing H 2 = 122,1_{-1,6} \text{ мм.}$$



3) Цепь 3

Известно: $\varnothing 4 = \varnothing K 4 = 98_{-0,35} \text{ мм}$;

Найти: $\varnothing H 3$

Замыкающее звено – $Z 3$.

Определим минимальный припуск Z_{3min} по формуле (2):

$$Z_{i min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{\Pi_{i-1}}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{i-\frac{1}{i}}^2},$$

Где $R_Z = 0,03 \text{ мм}$, $T_{\Pi} = 0,1 \text{ мм}$ [Авраменко, стр.10, табл. 2.7].

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2},$$

Где $\rho_{см} = \delta, \delta = 0,35 \text{ мм}$.

$\rho_{кор} = \Delta_{\kappa} L$, $\Delta_{\kappa} = 1 \text{ мкм/мм}$ [авраменко, стр.17, табл. 2.12], $L = 16 \text{ мм}$. Тогда $\rho_{кор} = 0,001 \times 16 = 0,016 \text{ мм}$.

$$\rho_3 = \sqrt{0,35^2 + 0,016^2} = 0,35 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

Где $\varepsilon_6 = 0$ [авраменко, стр.19, табл. 2.14].

$\varepsilon_3 = 1,2 \text{ мм}$ [авраменко, стр.27, табл. 2.19].

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 1,2^2} = 1,2 \text{ мм}$$

$$Z_{3_{min}} = 2 * (0,03 + 0,1) + \sqrt{0,35^2 + 1,2^2} = 1,51 \text{ мм}$$

Допуск замыкающего звена:

$$T_{Z_3} \geq \sqrt{T_{\phi 4}^2 + T_{\phi H 3}^2}$$

Допуск размера ϕH Определим по ГОСТ Р 53464-2009 [стр.6, табл. 1]:

$$T_{\phi H_2} = 1,6 \text{ мм}$$

$$T_{Z_3} \geq \sqrt{0,35^2 + 1,6^2} = 1,64 \text{ мм}$$

Максимальный припуск $Z_{3_{max}}$:

$$Z_{3_{max}} = Z_{3_{min}} + T_{Z_3} = 1,51 + 1,64 = 3,15 \text{ мм}$$

Средний припуск:

$$Z_{3_{cp}} = \frac{Z_{3_{max}} + Z_{3_{min}}}{2} = \frac{3,15 + 1,51}{2} = 2,33 \text{ мм}$$

Для упрощения последующих расчетов это значение можно принять номинальным припуском: $Z_{3_{cp}} = Z_{3_{ном}} = 2,33 \text{ мм}$

Определим номинальное значение составляющего звена:

$$A_{\Sigma \text{ ном}} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i \text{ ном}}} - \sum_{i=1}^n A'_{i \text{ ном}},$$

$$Z_{3 \text{ ном}} = \text{ОН} 3_{\text{ ном}} - \text{Ø} 4_{\text{ ном}}$$

$$\text{ОН} 3_{\text{ ном}} = Z_{3 \text{ ном}} + \text{Ø} 4_{\text{ ном}} = 2,33 + 98 = 100,33 \text{ мм}$$

Размер $\text{ОН} 3$ – «охватываемый», поэтому допуск $\text{TØН} 3$ задаётся в «тело». Полученное номинальное значение округляется по ряду предпочтительного окончания размеров [16, стр. 2, табл. 1] в сторону увеличения припуска.

$$\text{ОН} 3 = 100,4_{-1,6} \text{ мм}.$$

Таблица 2.5

Достижение заданной точности диаметральных размеров

В рабочем чертеже	Как выдерживается в технологическом процессе	Как заданы операционные допуски
DK1=Ø116H12(^{+0,35})	Непосредственно черновым точением D1=DK1	D1=Ø116H12(^{+0,35}) межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
DK3=Ø119,7h12(_{0,35})	Непосредственно черновым точением D3=DK3	D3=Ø119,7h12(_{0,35}) межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки
DK4=Ø98h12(_{-0,35})	Непосредственно черновым точением D4=DK4	D4=Ø98h12(_{-0,35}) межоперационный размер, соответствует экономической точности черновой обработки

Таблица 3.3

Таблица 2.6 «Операционные размеры и припуски»

Обозначение	Значение операционного размера	Замыкающее звено – припуск				Метод расчета
		Z _{min}	Z _{max}	Z _{cp}	ΔZ	
D1 = DK1	Ø116H12(^{+0,3} ₅)	Z _{1_{min}} = 2,1	Z _{1_{max}} = 3,74	Z _{1_{cp}} = 2,92	Δ Z ₁ = 1,64	Вероятностный
D3 = DK3	Ø119,7h12(_{0,35})	Z _{2_{min}} = 1,51	Z _{2_{max}} = 3,15	Z _{2_{cp}} = 2,33	Δ Z ₂ = 1,64	Вероятностный
D4 = DK4	DK4=Ø98h12(_{0,35})	Z _{3_{min}} = 1,51	Z _{3_{max}} = 3,15	Z _{3_{cp}} = 2,33	Δ Z ₆ = 1,64	Вероятностный

Таблица 2.7 «Сравнение результатов предварительного и уточнённого расчетов»

Начальный размер	Предварительный расчет	Уточненный расчет	Результаты сравнения
H1	70 ± 0,7 мм	70,3 ± 0,7 мм	Начальный размер заготовки увеличился из-за увеличения расчетного припуска
H2	49,8 ± 0,6 мм	50,9 ± 0,6 мм	Начальный размер заготовки увеличился из-за уменьшения расчетного припуска
ØH1	115 ± 0,8 мм	113 ^{+1,6} мм	Начальный размер заготовки уменьшился из-за увеличения расчетного припуска
ØH2	121 ± 0,8 мм	122,1 _{-1,6} мм	Начальный размер заготовки

			увеличился из-за увеличения расчетного припуска
ØНЗ	103 ± 0,8 мм	100,4 _{-1,6} мм	Начальный размер заготовки уменьшился из-за уменьшения расчетного припуска

Н1. Разница результатов предварительного и пооперационного расчёта не превышает 1%. Заданная точность размера детали регламентируется общими допусками. Возможная причина увеличения расчетного припуска на заготовке при пооперационном расчете по сравнению с предварительным расчетом – применение метода максимума-минимума.

Н2. Разница результатов предварительного и пооперационного расчёта не превышает 3%. Заданная точность размера детали регламентируется общими допусками и достигается однократной черновой обработкой. Возможная причина уменьшения расчетного припуска на заготовке при пооперационном расчете по сравнению с предварительным расчетом – определение величины минимального припуска, как сумма факторов, влияющих на припуск($R_z, T_{II}, \rho_i, \varepsilon_i$)

ØН1. Разница результатов предварительного и пооперационного расчёта не превышает 2%. Заданная точность размера детали регламентируется общими допусками и достигается однократной черновой обработкой. Возможная причина увеличения расчетного припуска на заготовке при пооперационном расчете по сравнению с предварительным расчетом – применение вероятностного метода, который учитывает сочетание различных факторов, возникающий при обработке детали.

ØН2. Разница результатов предварительного и пооперационного расчёта не превышает 1%. Заданная точность размера детали регламентируется общими допусками и достигается однократной черновой обработкой.

	<p>ØН3. Разница результатов предварительного и пооперационного расчёта не превышает 3%. Заданная точность размера детали регламентируется общими допусками и достигается однократной черновой обработкой. Возможная причина уменьшения расчетного припуска на заготовке при пооперационном расчете по сравнению с предварительным расчетом, также, как и для размеров ØН1, ØН2 – применение вероятностного метода, который учитывает сочетание различных факторов, возникающий при обработке детали.</p>
--	--

2.5 Расчет режимов резания

Материал - Сталь 10X18H9БЛ

Параметры шероховатости обработанных поверхностей: Ra 2,5

Заготовка – отливка

Станок: Токарно-фрезерный центр INTEGREX 300-IVST

Расчет режимов резания

Рассмотрим операцию 010 Токарная черновая, Уст. 1:

1. Для обработки внутреннего контура используем – резец расточной с пластиной ромбической формы с углом 55° и радиусом при угле 1,6.

Рассмотрим операцию 015 Токарная черновая, Уст. 2:

1. Для подрезки торца будем использовать – резец подрезной с пластиной квадратной формы 90° и радиусом при угле 1,6;

2. Для чернового обтачивания цилиндрической поверхности – резец наружный черновой с ромбической пластиной углом 80° радиусом скругления 1,6.

Рассмотрим операцию 015 Токарная чистовая с ЧПУ:

1. Для подрезки торца используем – резец подрезной с пластиной квадратной формы 90° и радиусом при угле 0,4;

2. для чистового обтачивания цилиндрической поверхности – резец наружный чистовой с ромбической пластиной углом 35° радиусом скругления 0,4;

3. Для обработки канавки на торце цилиндрической поверхности используем
 – резец канавочный с пластиной для обработки канавок с шириной пластины
 3 мм и радиусами при вершинах 0,2;

Таблица.2.8 «режимы резания»

	Переход	t,мм	п, об/мин	S мм/ об	V, м/ мин
010	1. Подрезать торец в размер 67±0,15	3,7	1200- 1300	0,35- 0,4	280- 420
	2. Проточить торец в размер 62±0,15	0,85			
	3. Точить поверхность 49±0,15	0,72	2273- 4091	0,09	193
	4.Проточить поверхность в размер 43±0,15	0,85	1200- 1300	0,35- 0,4	280- 420
015	1.Подрезать торец 62±0,15	0,99	2100- 2500	0,05- 0,12	210- 250
	2. Расточить торец 62±0,15	0,2	3793	0,1- 0,15	143
	3. Точить поверхность 59±0,15	0,72	2273- 4091	0,09	193
	4.Точить поверхность в размер 57±0,15	0,85	1200- 1300	0,35- 0,4	280- 420

2.6 Выбор технологического оборудования

В качестве основного металлорежущего оборудования выбран токарно-фрезерный обрабатывающий центр INTEGREX 300-IVST. Токарно-фрезерные обрабатывающие центры INTEGREX 300-IVST предназначены для комплексной обработки сложных по конфигурации деталей с применением функции фрезерования, вне осевого сверления, нарезания резьбы, а также обработки стандартных деталей типа тел вращения: валов, осей, фланцев и других методом точения.

INTEGREX 300-IVST позволяет максимально повысить производительность. Оператор принимает минимальное участие в работе оборудования.



Рисунок 2.6 – «INTEGREX 300-IVST»

На станке производятся следующие операции:

- обтачивание простых и сложных поверхностей;
- нарезание резьбы;
- накатывание резьбы;
- отрезка;

- развёртывание;
- сверление;
- фрезерование приводным инструментом.

Параметры обработки:

Макс. диаметр вращения, мм - 750

Макс. диаметр точения, мм - 720

Макс. длина точения, мм - 1585

Перемещения:

Тип направляющих - Качения

Угол наклона станины, 225°

По оси X, мм - 630

По оси Y, мм - 230

По оси Z, мм - 1530

Габаритные размеры:

Длина, мм - 3600

Ширина, мм - 2000

Высота, мм - 1900

Вес, кг – 5800

Частота вращения шпинделя - 4000 об/мин

Частота вращения приводного инструмента – от 4000 до 12000 об/мин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель выпускной квалификационной работы заключалась в разработке технологического процесса изготовления готового изделия, основываясь на чертеже детали и характере производства.

Для этого были использованы ранее приобретенные навыки по конструктивному анализу деталей, работе с нормативно-технической документацией (ЕСКД, ЕСТД), проектированию технологической оснастки, а также знания в области материаловедения и выполнения инженерных расчетов.

При разработке технологии получения отливки и проектирования пресс-формы потребовалось тщательное изучение соответствующих государственных стандартов, содержащих детальное описание каждого этапа технологического процесса.

В результате для серийного производства был выбран вариант ручной пресс-формы. При ее конструировании использовалась специальная техническая литература, ГОСТы и другая нормативная документация. Особенностью спроектированной пресс-формы является возможность оперативной замены матриц, формирующих полость отливки, что существенно упрощает переналадку оборудования при частой смене номенклатуры выпускаемых деталей. Данное конструктивное решение является весьма целесообразным для организации серийного производства. В разделе, посвященном проектированию литейной технологии, были выполнены расчеты основных геометрических параметров литниково-питающей системы

. Главной задачей технологической части являлось освоение методов и способов проектирования технологического процесса литейного производства. Для проверки рассчитанных параметров литниково-питающей системы было проведено компьютерное моделирование процесса литья с использованием программного комплекса NovaFlow & Solid CV 4.6r4.

CONCLUSION

The main goal of the final qualifying work was to develop a technological process for manufacturing the finished product, based on the drawing of the part and the nature of production.

For this purpose, previously acquired skills in structural analysis of parts, working with regulatory and technical documentation (ESKD, ESTD), designing technological equipment, as well as knowledge in the field of materials science and performing engineering calculations were used.

When developing the technology for producing a casting and designing a mold, a thorough study of the relevant state standards, containing a detailed description of each stage of the technological process, was required.

As a result, a manual mold was chosen for mass production. When designing it, special technical literature, GOST standards and other regulatory documentation were used. A special feature of the designed mold is the ability to quickly replace the matrices that form the casting cavity, which significantly simplifies the readjustment of equipment when the range of manufactured parts is frequently changed. This design solution is very appropriate for organizing mass production. In the section devoted to the design of foundry technology, calculations of the main geometric parameters of the gating-feeding system were performed

. The main task of the technological part was to master the methods and methods of designing the technological process of foundry production. To check the calculated parameters of the gating-feeding system, computer simulation of the casting process was carried out using the NovaFlow & Solid CV 4.6r4 software package.

Список использованных источников и литературы

1. Классификатор ЕСКД [Электронный ресурс] Сайт КлассИнформ | Коды общероссийских классификаторов на 2023 год с расшифровкой и поиском – Форма доступа: <https://classinform.ru/okeskd/kod.html//>
2. ГОСТ 2.109-73 «ЕСКД Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам»
3. ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия»
4. ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку»
5. ГОСТ 3212-92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров»
6. Иванов В.Н., Казеннов С.А. и др. Литьё по выплавляемым моделям. Под общ. ред. Шкленника Я. И., Озерова В. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
7. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. М., «Машиностроение», 1974, 472с. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений— М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 352 с.
8. Индукционные печи средней частоты нового поколения [Электронный ресурс] Сайт Разработка и производство сложного наукоемкого электротехнологического оборудования – Форма доступа: http://reltec.biz/upload/image/pechi_sredney_chastoty.pdf
9. Электропечь индукционная ИСТ-0,16/0,25-И1 | Характеристики сведения | Каталог электротехнического оборудования Электропечь индукционная ИСТ-0,16/0,25-И1 | Характеристики сведения | Каталог

электротехнического оборудования [Электронный ресурс] Сайт Каталог электротехнического оборудования | Технические характеристики, сведения, фото – Форма доступа: <https://electro.mashinform.ru/ehlektropechi-plavilnye/jelektropech-indukcionnaja-ist-0-16-0-25-i1-obj5022.html>

13. Шихтовые материалы и их загрузка в печь [Электронный ресурс] Сайт учебные материалы онлайн – Форма доступа: https://studwood.net/1611451/tovarovvedenie/shihtovye_materialy_zagruzka_pech

14. С. И. Пентюхин, А. В. Трапезников, К. А. Власова, Т. Д. Клюквина
«Определение оптимальной технологии изготовления отливок с применением керамических форм»

15. Гузеев В.И. и др. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезернорасточных станков с числовым программным управлением: Справочник. 2-е изд. М.:Машиностроение, 2007.

16. Байкалова В.Н, Колокатов А.М, Малинина И.Д. Назначение режимов резания: Методические указания. М.:Машиностроение, 1988

17. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под ред. В. И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1990. 400.с

18. INTEGREX 300 Станок токарный с ЧПУ. Паспорт, схемы, характеристики, описание Сайт Каталоги станков и кузнечно-прессового оборудования – Форма доступа: https://xn--80aaung.xn--p1ai/catalog/stanok_1/

19. Каталог режущих инструментов [Электронный ресурс] Сайт Sandvik Coromant | Официальный сайт поставщика Сандвик Коромант в России – Форма доступа: <https://sandvik.importtools.ru/cert/catalogs/sandvikcoro>

--	--